

*Isu*

02910.000110.

PATENT APPLICATION



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Application of:	)	
	:	Examiner: U.O. Anyaso
KAZUNARI OYAMA ET AL.	)	
	:	Group Art Unit: 2675
Application No.: 10/764,538	)	
	:	
Filed: January 27, 2004	)	
	:	
For: DRIVING METHOD FOR ELEC-	)	
TRON-EMITTING DEVICE,	:	
DRIVING METHOD FOR	)	
ELECTRON SOURCE, MANUFAC-	:	
TURING METHOD FOR ELECTRON	)	
SOURCE, AND IMAGE	:	
DISPLAY APPARATUS	)	January 6, 2005

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENTS

Sir:

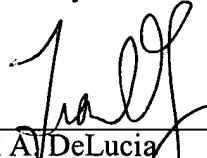
In support of Applicants' claim for priority under 35 U.S.C. § 119, enclosed  
are certified copies of the following foreign applications:

2003-019171, filed January 28, 2003; and  
2004-010974, filed January 19, 2004.

Applicants' undersigned attorney may be reached in our New York office by

telephone at (212) 218-2100. All correspondence should continue to be directed to our address given below.

Respectfully submitted,

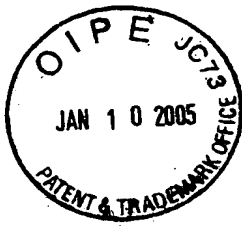


---

Frank A. DeLucia  
Attorney for Applicants  
Registration No. 42,476

FITZPATRICK, CELLA, HARPER & SCINTO  
30 Rockefeller Plaza  
New York, New York 10112-3801  
Facsimile: (212) 218-2200

NY\_MAIN 460959v1



10/764,538

JAPAN PATENT OFFICE

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Date of Application: January 28, 2003  
Application Number: JP 2003-019171  
Applicant(s): CANON KABUSHIKI KAISHA

Dated this 14th day of January 2004

Commissioner,  
Japan Patent Office

Yasuo IMAI (Seal)

Certificate Issuance No. 2003-3111168

CFG00110

US

CN

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

10/764,538

GALL 2675

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application:

2003年 1月28日

出願番号  
Application Number:

特願2003-019171

[ST. 10/C]:

[JP2003-019171]

願人  
Applicant(s):

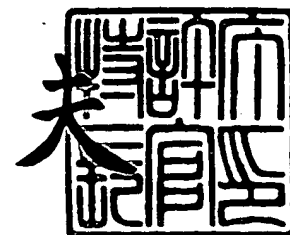
キヤノン株式会社

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2004年 1月14日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 251132

【提出日】 平成15年 1月28日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 H01J 9/02  
G09G 3/20

【発明の名称】 電子放出素子の駆動方法及び電子源の駆動方法及び電子源の製造方法

【請求項の数】 3

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社 内

【氏名】 大山 一成

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社 内

【氏名】 教皇 正文

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社 内

【氏名】 塚本 健夫

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代表者】 御手洗 富士夫

## 【代理人】

【識別番号】 100085006

【弁理士】

【氏名又は名称】 世良 和信

【電話番号】 03-5643-1611

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100100549

【弁理士】

【氏名又は名称】 川口 嘉之

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100106622

【弁理士】

【氏名又は名称】 和久田 純一

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 066073

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電子放出素子の駆動方法及び電子源の駆動方法及び電子源の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に電圧を印加し、前記電子放出体から電子を放出させる電子放出素子の駆動方法であって、

駆動開始までに前記陰極と前記対向電極との間に印加された最大電圧を最大印加電圧  $V_{max}$  とすると、前記電子放出素子を駆動するために前記陰極と前記対向電極との間に前記最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい駆動電圧  $V$  を印加することを特徴とする電子放出素子の駆動方法。

【請求項 2】

炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に駆動電圧を印加することで、前記電子放出体から電子を放出し得る複数の電子放出素子が、基板上に形成された電子源の駆動方法であって、

前記複数の電子放出素子のうち所定の電圧を印加した場合に放出される電子の量が相対的に少ない電子放出素子の  $I-V$  特性と、前記電子の量が相対的に多い他の電子放出素子の  $I-V$  特性とが近づくように、前記駆動電圧よりも大きな電圧  $V_{max}$  を前記他の電子放出素子に印加する工程と、

入力されたデータに応じて、前記複数の電子放出素子を駆動するために前記陰極と前記対向電極との間に前記最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい駆動電圧  $V$  を印加する工程と、

を含むことを特徴とする電子源の駆動方法。

【請求項 3】

炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に駆動電圧を印加することで、前記電子放出体から

電子を放出し得る複数の電子放出素子が、基板上に形成された電子源の製造方法であって、

前記複数の電子放出素子のうち所定の電圧を印加した場合に放出される電子の量が相対的に少ない電子放出素子の I - V 特性と、前記電子の量が相対的に多い他の電子放出素子の I - V 特性とが近づくように、前記駆動電圧よりも大きな電圧を前記他の電子放出素子に印加することを特徴とする電子源の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、炭素繊維を用いた電子放出素子の駆動方法及び電子源の駆動方法及び電子源の製造方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来、電子放出素子として熱電子源と冷陰極電子源の 2 種類が知られている。冷陰極電子源には、電界放出型（以下 F E 型と略す）が知られている。

【0 0 0 3】

F E 型の例としては、非特許文献 1 に記載されている。

【0 0 0 4】

上記 F E 型の冷陰極電子源における製造プロセス上の困難を回避した、冷陰極電子源の材料として、近年、カーボンナノチューブやグラファイトナノファイバーといった、繊維状の炭素材料が注目されている。前者については例えば、非特許文献 2、後者については例えば、非特許文献 3 に記載されている。いずれの繊維状炭素も、触媒を用いて炭化水素ガスを分解してできるが、グラファイトナノファイバーは比較的低温で生成することが可能である。

【0 0 0 5】

上記グラファイトナノファイバーを冷陰極電子源材料として用い、ひとつの電子放出素子を形成して、これを一定電圧駆動する場合、炭素繊維の集合体における、それぞれの炭素繊維形状のばらつきによって、電子放出特性の時間的安定性が左右される。一般に、直径が小さく細い繊維には電界が集中しやすいため、大



きな電子放出が得られる反面、時間的劣化が大きい。炭素繊維の集合体を、電子放出材料として用いる場合、一定電圧駆動において、より細い繊維から時間的に劣化してゆき、集合体全体としての放出電流が小さくなってゆく。そのため、直径のばらついた炭素繊維の集合体の電子放出特性は不安定なものとなる。また、繊維の形状ばらつきは、時間的な駆動不安定だけでなく、炭素繊維を形成した面内での電子放出のばらつきの原因ともなる。

#### 【0006】

ここで、上記炭素繊維の集合体における、繊維形状のばらつきとは、集合体内の直径だけでなく、炭素繊維の長さや、グラファイトナノファイバーの一本を形成する積層した黒鉛シート一枚一枚の大きさ等、電子放出を伴う形状のすべてのばらつきを指している。

#### 【0007】

炭素繊維の集合体における直径のばらつきについては、例えば、特許文献1や非特許文献4に制御の手法が記載されている。

#### 【0008】

また、例えば、非特許文献5に、エレクトロンリソグラフィーによって、基板上に所定の間隔をおいて一本ずつ配列したマルチウォールカーボンナノチューブを作製し、アノード電極として、プローブを用いてスキャンさせることにより、それぞれのマルチウォールカーボンナノチューブ一本毎の特性を合わせる研究が示されている。

#### 【0009】

一方、上記炭素繊維を複数集めた集合体を、電子放出体として用いた、電子放出素子の応用については、例えば、画像表示装置、画像形成装置、画像記録装置、荷電ビーム源等が研究されている。

#### 【0010】

特に画像表示装置への応用としては、電子放出素子と電子ビームの照射により発光する蛍光体とを組み合わせ用いた画像表示装置が研究されている。

#### 【0011】

例えば、図23に冷陰極素子を2次元的に多数個配列し、これらの素子をマト

リクス状に配線したマルチ電子源を示す。

#### 【0 0 1 2】

図 2 3 中、4 0 0 1 は冷陰極素子、4 0 0 2 は行方向配線、4 0 0 3 は列方向配線を示している。行方向配線 4 0 0 2 及び列方向配線 4 0 0 3 は、実際には有限の電気抵抗を有するものであるが、図においては配線抵抗 4 0 0 4 及び 4 0 0 5 として示されている。上述のような配線方法を、単純マトリクス配線と呼ぶ。尚、図示の便宜上、 $6 \times 6$  のマトリクスで示しているが、マトリクスの規模はむしろこれに限ったわけではなく、例えば画像表示装置用のマルチ電子源の場合には、所望の画像表示を行うのに足りるだけの 1 万乃至 1 千万個の素子を配列し配線するものである。

#### 【0 0 1 3】

電子放出素子を単純マトリクス配線したマルチ電子源においては、所望の電子ビームを出力させるため、行方向配線 4 0 0 2 及び列方向配線 4 0 0 3 に適宜の電気信号を印加する。例えば、マトリクス中の任意の 1 行の放出素子を駆動するには、選択する行の行方向配線 4 0 0 2 には選択電圧  $V_s$  を印加し、同時に非選択の行の行方向配線 4 0 0 2 には非選択電圧  $V_{ns}$  を印加する。これと同期して列方向配線 4 0 0 3 に電子ビームを出力するための駆動電圧  $V_e$  を印加する。この方法によれば、配線抵抗 4 0 0 4 及び 4 0 0 5 による電圧降下を無視すれば、選択する行の電子放出素子には、 $(V_e - V_s)$  の電圧が印加され、また非選択行の電子放出素子には  $(V_e - V_{ns})$  の電圧が印加される。

#### 【0 0 1 4】

ここで、これら  $V_e$ 、 $V_s$ 、 $V_{ns}$  の電圧値を適宜の大きさの電圧にすれば、選択する行の電子放出素子だけから所望の強度の電子ビームが出力され、また列方向配線 4 0 0 3 の各々に異なる駆動電圧  $V_e$  を印加すれば、選択する行の素子の各々から異なる強度の電子ビームが出力される。また、電子放出素子の応答速度は高速であるため、駆動電圧  $V_e$  を印加する時間の長さを変えれば、電子ビームが出力される時間の長さも変えることができる。

#### 【0 0 1 5】

従って、表面伝導型放出素子を単純マトリクス配線したマルチ電子源は、種々

の装置に応用でき、例えば画像情報に応じた電気信号を適宜印加すれば、画像表示装置用の電子源として好適に用いることができる。

【0016】

【特許文献1】

特開 2000-095509 号公報

【非特許文献1】

J. Appl. Phys. Vol. 47, No. 12, p. 5248  
(1996)

【非特許文献2】

Nature, 354, (1991) 56

【非特許文献3】

NIKKEI MECHANICAL 2001. 12 no. 56

7

【非特許文献4】

Applied Physics Letters 76 (2000)  
) pp. 2367-2369

【非特許文献5】

Applied Physics Letters 81 (2002)  
) pp. 343-345

【0017】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記手段によって、炭素繊維の集合体における直径分布の狭域化が実現されても、炭素繊維の長さの不均一性、さらには、炭素繊維を構成する、黒鉛シートの一枚一枚のサイズ不均一性までは、十分に制御するには至っていない。

【0018】

上記炭素繊維の集合体を有する電子放出素子を、画像形成装置に用いる場合、ひとつの電子放出素子において均一で好適な明るさやコントラストを、長時間にわたり維持することが求められる。

## 【0019】

これを実現するためには、ひとつの電子放出素子から放出される電子量の時間的減少を抑え、期待される期間において一定量以上の電子放出を行うことが電子放出素子に求められる。

## 【0020】

そのためには、電子放出の不均一の原因となる、炭素繊維の集合体における全ての形状不均一を除外する必要があるが、それら全てを、炭素繊維の集合体の製造段階で除外することは、現在のところ困難である。

## 【0021】

また、配列させたマルチウォールカーボンナノチューブの一本一本に、プローブ状のアノードを走査させて特性を合わせる方法では、マルチウォールカーボンナノチューブの集合体内におけるすべての繊維の特性を合わせることは、現実的に不可能であり、チューブを規則的に配列させる手段自体が簡便な製造方法ではなく、製造コストの増大を招く。この方法は、繊維が絡み合って存在する製造が簡便な繊維の集合体に適用し難い。おいても、その集合体内において電子放出特性が均一化され、安定化、長寿命化できる技術が求められている。

## 【0022】

一方、上記炭素繊維の集合体を電子放出体とした複数の電子放出素子を配列したマルチ電子源においては、工程上の変動などにより、個々の電子放出素子の放出特性に多少のバラツキを生じ、これを用いて表示装置を作成した場合に、この特性のバラツキが輝度のバラツキとなって表れることがあった。

## 【0023】

このようにマルチ電子源における電子放出素子の電子放出特性が、電子放出素子毎に異なる理由としては、例えば電子放出体に用いた材料の成分のバラツキ、素子の各部材の寸法形状の誤差など種々の原因が考えられる。しかしながら、これら全ての原因を除去しようとするとは非常に高度な製造設備や極めて厳密な工程管理が必要となり、これらを満足させると製造コストが莫大なものになってしまう。

## 【0024】

本発明は上記の従来技術の課題を鑑みなされたもので、その目的とするところは、炭素繊維の集合体を電子放出体に用いた電子放出素子を、安定に長時間駆動することが可能な電子放出素子の駆動方法を提供することにある。

#### 【0025】

また、本発明の他の目的とするところは、炭素繊維の集合体を電子放出体に用いた電子放出素子を複数個配列したマルチ電子源において、各電子放出素子間の電子放出特性のバラツキを抑制する電子源の駆動方法及び調整方法を提供することにある。

#### 【0026】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために本発明に係る電子放出素子の駆動方法にあっては、炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に電圧を印加し、前記電子放出体から電子を放出させる電子放出素子の駆動方法であって、

駆動開始までに前記陰極と前記対向電極との間に印加された最大電圧を最大印加電圧  $V_{max}$  とすると、前記電子放出素子を駆動するために前記陰極と前記対向電極との間に前記最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい駆動電圧  $V$  を印加することを特徴とする。

#### 【0027】

また、本発明に係る電子源の駆動方法にあっては、炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に駆動電圧を印加することで、前記電子放出体から電子を放出し得る複数の電子放出素子が、基板上に形成された電子源の駆動方法であって、

前記複数の電子放出素子のうち所定の電圧を印加した場合に放出される電子の量が相対的に少ない電子放出素子の  $I-V$  特性と、前記電子の量が相対的に多い他の電子放出素子の  $I-V$  特性とが近づくように、前記駆動電圧よりも大きな電圧  $V_{max}$  を前記他の電子放出素子に印加する工程と、

入力されたデータに応じて、前記複数の電子放出素子を駆動するために前記陰

極と前記対向電極との間に前記最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい駆動電圧  $V$  を印加する工程と、

を含むことを特徴とする。

#### 【0028】

上記方法によれば、電子放出体としての炭素繊維の集合体において、電子放出素子の安定な駆動を行うことができる。

#### 【0029】

前記駆動電圧  $V$  は、該駆動電圧  $V$  が印加されたときの放出電流を  $I$  とすると、 $1/V$  対  $\log(I/V^2)$  の関係が略線形となる低電圧領域から選択されることが好適である。

#### 【0030】

上記方法によれば、電子放出素子の安定な駆動を、再現良く、略線形の単純な関係において行うことができる。

#### 【0031】

また、本発明に係る電子源の製造方法にあつては、

炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に駆動電圧を印加することで、前記電子放出体から電子を放出し得る複数の電子放出素子が、基板上に形成された電子源の製造方法であつて、

前記複数の電子放出素子のうち所定の電圧を印加した場合に放出される電子の量が相対的に少ない電子放出素子の  $I-V$  特性と、前記電子の量が相対的に多い他の電子放出素子の  $I-V$  特性とが近づくように、前記駆動電圧よりも大きな電圧を前記他の電子放出素子に印加することを特徴とする。

#### 【0032】

上記方法によれば、複数の電子放出素子を備えた電子源において、均一な素子特性を得ることができる。

#### 【0033】

前記  $I-V$  特性は、 $1/V$  対  $\log(I/V^2)$  の関係が略線形である低電圧領域において、前記  $1/V$  対  $\log(I/V^2)$  の関係における傾きと切片であ

ることが好適である。

#### 【0034】

また、本発明に係る他の電子源の調整方法乃至製造方法にあつては、  
炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に駆動電圧を印加し、前記電子放出体から電子を放出させる複数の電子放出素子を、基板上においてマトリックス状に形成した電子源の調整方法乃至製造方法であつて、

前記複数の電子放出素子のそれぞれの電子放出特性を測定するために特性測定電圧を印加する測定工程と、

測定された前記電子放出特性に基づいて前記複数の電子放出素子の特性の基準値を求める基準値選択工程と、

前記複数の電子放出素子の特性を前記基準値に応じた値になるように前記複数の電子放出素子のそれぞれに特性シフト電圧を印加する特性シフト電圧印加工程と、

を有することを特徴とする。

#### 【0035】

上記方法によれば、マルチ電子源において、均一な素子特性を得ることができる。

#### 【0036】

前記特性シフト電圧印加工程の後に、

前記複数の電子放出素子の特性を再度測定する工程と、

再度測定の結果に基づいて該当する電子放出素子に特性シフト電圧を再度印加する工程と、

を有することが好適である。

#### 【0037】

上記方法によれば、マルチ電子源において、均一な素子特性を得ることができる。

#### 【0038】

前記測定工程では、各電子放出素子を駆動する毎に、当該電子放出素子より放

出される放出電流を測定することが好適である。

**【0039】**

上記方法によれば、マルチ電子源において、各素子の電子放出特性を簡便に知ることができる。

**【0040】**

前記測定工程は、各電子放出素子を駆動する毎に、該電子放出素子を通る電流を測定することが好適である。

**【0041】**

上記方法によれば、マルチ電子源において、各素子の電子放出特性を簡便に知ることができる。

**【0042】**

前記測定工程は、各電子放出素子を駆動する毎に、該電子放出素子より放出される電子により発光される蛍光体の発光輝度を測定し、その測定した輝度を前記放出電流または素子電流に相当する値に変換することが好適である。

**【0043】**

上記方法によれば、マルチ電子源において、各素子の電子放出特性を簡便に知ることができる。

**【0044】**

本発明に用いられる前記炭素繊維の集合体は、プレートレット型の炭素繊維、ヘリングボーン型の炭素繊維、バンブーライク型の炭素繊維、シングルウォールカーボンナノチューブ、マルチウォールカーボンナノチューブ、または、それらが混合された集合体であることが好適である。

**【0045】**

上記方法によれば、マルチ電子源において、均一な素子特性を簡便に得ることができる。

**【0046】**

**【発明の実施の形態】**

以下に図面を参照して、この発明の好適な実施の形態を例示的に詳しく説明する。ただし、この実施の形態に記載されている構成部品の寸法、材質、形状、そ



の相対位置などは、特に特定の記載がない限りは、この発明の範囲をそれらの方に限定する趣旨のものではない。

#### 【0047】

図1は、本発明による電子放出素子の駆動方法を説明するための図である。

図1は、炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に電圧 $V_f$ を印加した時に、電子放出体から放出する電子の量（放出電流） $I_e$ との関係（ $I-V$ 特性）を片対数グラフで示している。

#### 【0048】

本発明の一実施形態は、駆動開始までに電子放出素子の陰極と対向電極との間に印加された最大電圧を最大印加電圧 $V_{max}$ とした時、電子放出素子を駆動するために陰極と対向電極との間に前記最大印加電圧 $V_{max}$ より小さい駆動電圧 $V$ を印加する。このようにすれば電子放出特性の経時変化を抑えることができる。

#### 【0049】

本発明は後述するような実験の結果なされたものであり、本発明を理解しやすくするために、その実験について述べる。

#### 【0050】

（実験1）

図2は本発明に用いられる電子放出素子の一例を示す模式図である。

#### 【0051】

図2に示すように、真空容器97の内部には、陰極基板92が配置されている。陰極基板92表面には、電子放出素子を構成する炭素繊維94の集合体が形成された陰極電極93が設けられている。また、陰極電極93に対向する位置に配置された陽極基板96表面には、炭素繊維94から放出された電子を受け取る陽極電極95が、対向電極として設けられている。陰極電極93と陽極電極95の間には電圧源91により所定の電圧が印加可能に構成されている。なお、真空容器97は、その内部を排気するための排気係98を備えている。

#### 【0052】

図2に示すような陰極基板92、陽極基板96として、ガラス基板(PD200、旭硝子株式会社製)を用い、陰極電極93をTiN薄膜で、陽極電極95をITO薄膜で作製した。

#### 【0053】

図3に示すようにして炭素繊維の集合体を形成した。図3において、101は陰極電極、102は陰極基板、103は触媒微粒子、104は炭素繊維の集合体である。以下、詳述する。

#### 【0054】

まず、イオンビームスパッタリング法により、陰極基板102表面に厚さ100nmのTiN薄膜101を作製した(図3(a))。次に、RFスパッタリング法により、TiN薄膜101上に炭素繊維の成長を促進する触媒微粒子103を作製した。(図3(b))。触媒微粒子103としては、パラジウム、コバルト、鉄、ニッケルあるいは、前記2つ以上の合金を用いることができる。触媒微粒子103が配置された陰極基板102を炉に入れ、水素ガス雰囲気中で加熱処理した後、炭化水素ガスを混合した水素ガス雰囲気中で基板を熱することで、炭素繊維104を生成させた(図3(c))。炭化水素ガスとしては、メタン、エチレン、アセチレン、一酸化炭素、二酸化炭素が用いられる。炭素繊維104を生成させられる炉の温度は450℃から800℃であるが、ここでは陰極基板102としてPD200をもちいたので、PD200の歪み点(570℃)以下で加熱した。

#### 【0055】

こうして作製した陰極における炭素繊維104をSEMで観察したところ、太さは5~60nmであり、炭素繊維の集合の膜厚は0.3μm~15μmであった。また、ラマン解析によると、1580cm<sup>-1</sup>付近と、1340cm<sup>-1</sup>付近に、グラファイトに特徴的な振動が観察された。また、TEM観察によると、炭素繊維104の長さ方向に、グラフェンが積層した構造となっている。グラフェンの形状は、平面状(プレートレット型)、カップ状(ヘリングボーン型)、及び節状(バンブーライク型)になっているものがそれぞれ観測された。これらの炭素繊維104は総じてグラファイトナノファイバーと呼ばれている。

## 【 0 0 5 6 】

こうして作製した炭素繊維の集合体を図 2 に示すように配置し、陰極電極 9 3 と陽極電極 9 5 には、その間隔を維持するためのスペーサ（不図示）を配置した。そして、真空容器 9 7 内をターボ分子ポンプ、ドライポンプ、及びイオンポンプを用いて排気した。

## 【 0 0 5 7 】

これに電圧を印加して電子放出させた。その  $I-V$  特性を図 4 に示す。横軸は印加電圧、縦軸は放出電流の対数表示である。図 4 中における、それぞれの曲線（番号 1 から 8）は電圧印加の回数を示している。また、曲線 7 における駆動において炭素繊維の膜が一部破壊されているため、8 回目の駆動においては、7 回目の印加電圧に相当する電圧を最初に印加しても同等の電流を得ることはできていない。また、各曲線の電圧上昇速度と電圧下降速度はそれぞれ、曲線 1 から曲線 4 については、 $2\text{ V/s}$  の電圧上昇速度と、 $-2\text{ V/s}$  の電圧下降速度であり、曲線 5 から曲線 8 においては  $20\text{ V/s}$  の電圧上昇速度と、 $-5\text{ V/s}$  の電圧下降速度である。

## 【 0 0 5 8 】

図 4 から分かるように、各電圧印加における電圧上昇過程において、 $I-V$  曲線に折れ曲がりの点があり、折れ曲がり点電圧以下の  $I-V$  曲線（これを第 1 の曲線と呼ぶ）と、折れ曲がり点電圧以上の  $I-V$  曲線（これを第 2 の曲線と呼ぶ）との 2 種類の曲線によって、各  $I-V$  曲線が構成されている。また、折れ曲がり点電圧以上の第 2 の曲線は、各回数での駆動においてつながっている。

## 【 0 0 5 9 】

ここで、各回数における駆動の、第 2 の曲線に到達するまでの電圧範囲において、電圧下降時の曲線に対し、次回の駆動時における電圧上昇時の曲線は、各電圧において、常にわずかに高い電流を出力し、上周りの曲線を描く。その意味で、折れ曲がり点以下の駆動において、電圧の上昇と下降に対して、電子放出特性にヒステリシスがある。しかし、このヒステリシスは、複数回の電圧上昇と電圧下降に対し再現することが分かっている。すなわち、折れ曲がり点電圧以下の駆動において、電圧上昇による曲線と電圧下降による曲線は、それぞれで、ほぼ同

一の曲線を描く。このことは、第2の曲線に到達するまでの電圧範囲において、 $I-V$ 曲線に再現性があり、第2の曲線に到達した後さらに電圧を上昇させることによって、 $I-V$ 曲線の再現性が破られることを示している。さらに、重要なことは、さらなる電圧上昇後に得られる第1の曲線は、さらなる電圧上昇前の第1の曲線よりも、より高い放出電流が得られることである。

#### 【0060】

上記性質をまとめると、次のように言い換えることができる。すなわち、炭素繊維による電子放出特性は、炭素繊維が経験した最大印加電圧  $V_{max}$  に依存し、 $V_{max}$  を上昇させることで、 $I-V$ 特性は変化するとともに、変化した  $I-V$ 特性は、より高い最大電流をもつことができる。

#### 【0061】

図5は、図4に示した  $I-V$ 曲線に対応する  $F-N$  (Fowler-Nordheim) プロットを示す。各駆動回数における  $I-V$ 曲線の折れ曲がりに対応して、 $F-N$ プロットにおいても折れ曲がりが存在する。図5から、各駆動における電圧下降過程における傾きを見ると、駆動回数の増加とともに傾きが負の方向へ増大していることが分かる。この傾きから電子放出面積  $\alpha$  を、傾きと  $1/V_a$  切片から電界増強因子  $\beta$  を求めることができる。この  $F-N$ プロットから、各駆動における電圧下降過程において、電界増強因子  $\beta$  と電子放出面積  $\alpha$  を算出すると、駆動回数とともに、 $\beta$  は減少し、 $\alpha$  は増大していくことが分かった。

#### 【0062】

この事実は次のことを示している。すなわち、上記曲線2に対応する曲線上に、 $(V, I)$  をもっていく場合、すなわち、 $V_{max}$  を上昇させていく時、それまで炭素繊維の膜が保持していた電界増強因子  $\beta$  の値が減少するとともに電子放出面積  $\alpha$  の値が増大する。このことは、 $V_{max}$  を上昇させることで、膜中における電界増強の強い箇所が破壊されてゆき、それほど電界増強されない箇所が生き残り、その結果、新たに得られた  $I-V$ 曲線はしきい値が上昇し、電界増強因子  $\beta$  が減少する。しかしながら、電界増強の弱い箇所は、破壊されにくく、より高い電圧印加に耐えるとともに、電子放出されていなかった箇所が、電子放出に寄与し始める。それによって、全体の電子放出面積は広がって電子放出面積  $\alpha$  が

増大する。その結果、膜全体として、より大きい電流放出を可能とする。すなわち、 $V_{max}$ を上昇させることによって、出力電流のダイナミックレンジを広げることができることを意味している。

#### 【0063】

また、膜内の電子放出点は、 $V_{max}$ 上昇とともに、消滅と生成を繰り返して、場所を変えていくとともに、電子放出点が増えてゆき、膜全体から均一に放出するようになる。一方、 $V_{max}$ 固定時において、電圧を変化させた場合には、電子放出点の場所は変化せず、電子放出点からの電子放出量が、電圧の昇降にもなって増減するのみである。このことは、 $V_{max}$ 上昇によって、電子放出に寄与する箇所が選択されるとともに、その箇所が増大し、 $V_{max}$ 固定のもとでは、電子放出に寄与する場所が保存されることを意味する。すなわち、 $V_{max}$ 上昇が、電子放出箇所の破壊を伴っていること、そして新たな電子放出箇所の生成を伴っていることを意味している。

#### 【0064】

以上詳述したとおり、この実験1によって、 $V_{max}$ を適当な値に設定する制御を行うことによって、所望のI-V曲線を得ることができることを見出し、本発明を為すに至ったのである。

#### 【0065】

##### (実施形態1)

本発明の実施形態1による電子放出素子の駆動方法は、図1、図2に示したような形態であり、電子放出素子として、陰極と陽極の2端子をもつ素子を用いるものである。

#### 【0066】

つまり、本実施形態の電子放出素子の駆動方法は、図2に示すように、電子放出素子を構成する炭素繊維94の集合体が形成された陰極電極93と、それに対向する位置に配置された陽極電極（対向電極）95との間には電圧源91により所定の電圧 $V_a$ が印加可能に構成されていて、任意の時期に表示のために駆動を開始しようとする時、その時までには陰極電極93と対向電極95との間に印加された最大電圧、つまり履歴上の最大印加電圧を $V_{max}$ とした時、電子放出素子

を駆動するために陰極電極 93 と対向電極 95 との間に前記最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい駆動電圧  $V$  を印加する。

#### 【0067】

そして、この駆動方法は、前述した電子放出素子が複数マトリクス状に配置された電子放出素子アレイである電子源の駆動方法にも適用可能であり、その場合には、各電子放出素子毎に、駆動電圧  $V$  と  $V_{max}$  が前述した関係を満足するように設定するとよい。

#### 【0068】

(実施形態 2)

以下にのべる実施形態は、3つの制御用の端子をもつ電子放出素子の駆動方法に関するものである。

#### 【0069】

図 6 (a) は本実施の形態に係る電子放出素子の一例として、ゲート電極を具備した炭素繊維の集合体を電子放出体として用いた電子放出素子の模式的上面図、(b) は (a) の A-A' 間断面図である。

#### 【0070】

図 6 において 11 は絶縁性基板、12 は引き出し電極 (ゲート電極)、13 は陰極電極、14 は陰極 (エミッター) 材料、を示している。ここでは、ゲート電極 12 が本発明における対向電極として働く。

#### 【0071】

図 7 は本実施の形態に係る電子放出素子から放出された電子が陽極に向かう様子を説明するための模式図である。

#### 【0072】

図 7 に示すように、数  $\mu m$  のギャップ  $d$  を持った電子放出素子を真空装置 60 に設置し、真空排気装置 65 によって  $10^{-4} Pa$  程度に到達するまで十分に排気する。真空装置 60 内には電子放出素子を構成する絶縁性基板 11 から 1~9 mm の高さ  $H$  の位置に陽極 (アノード) 61 が設けられており、高電圧電源 (第 2 の電圧印加手段) により例えば 1~10 キロボルトの高電圧  $V_a$  を印加する。

#### 【0073】

電子放出素子には、図示しない電源（第1の電圧印加手段）により駆動電圧  $V_f$  として数十V程度からなるパルス電圧を印加する。そして、電極12、13間を流れる素子電流を  $I_f$ 、陰極材料14から放出される電子による電子放出電流を  $I_e$  として示すと、 $I_f \ll I_e$  である。

#### 【0074】

この時、等電位線63は図のように形成され、最も電界の集中する点は64で示される電子放出材料のうち、最もアノード61に近く、かつ、ギャップdの内側の場所である。そして、この電界集中点近傍に位置する電子放出材料の中で最も電界集中する場所から電子が放出されると考えられる。

#### 【0075】

図8は本実施の形態に係る電子放出素子の  $V_f - I_e$  特性を示すグラフである。図9は、図8に示す  $I_e$  特性について、 $\log(I_e)$  を縦軸とし、電子放出電圧領域である、 $V_f > V_{th}$  の領域について、電子放出特性を図示したものである。

#### 【0076】

ここで、単一の孤立した金属の先端から真空への電子放出において、その電流密度は、ポアソン方程式によって導かれるエミッター先端部の電界と、エミッター一部の仕事関数をパラメーターとして  $Fowler-Nordheim$  の式と呼ばれる関係式に従うことが知られている。この  $Fowler-Nordheim$  の式からは、 $\log(I_e/V_f^2)$  と  $1/V_f$  が線形の関係にあることが導かれ、その直線の傾きからは電界強度因子等が得られる。このことから、実際の電子放出特性から  $\log(I_e/V_f^2)$  と  $1/V_f$  とのプロット（F-Nプロットと呼ぶ）を求め、それが線形の関係に従うか否かによって、電流と電圧の関係が電子放出に依存して得られたものであるか否かを判断することができる。しかしながら、炭素繊維の電子放出特性におけるF-Nプロットは、集合体からの電子放出であること、電子放出中に電子放出箇所の表面のクリーニングがあること、電子放出中に電子放出箇所が破壊されること等から、必ずしも一つの線形関係に従わないことがある（PHYSICAL REVIEW B VOLUME 55, NUMBER 15 9391-9399や、APPLIED PHYSICS LETTERS VOLUME 74, NUMBER 17 2549-2551を参照）。

## 【0077】

本実施の形態における炭素繊維の集合体を利用した電子放出素子の電子放出特性のF-Nプロットにおいても、上記報告と同様に、単一の直線性を示していない。

## 【0078】

図10は、上述の図9に示す本実施の形態に係る炭素繊維の集合における電子放出特性について、 $\log(I_e/V_f^2)$ と $1/V_f$ のプロットを示した図である。図10に示すように、放出電流を伴う電圧範囲 $V_f > V_{fh}$ においては、 $1/V_f$ に対する $\log(I_e/V_f^2)$ の振る舞いに応じて、以下の2つの領域に分割される。

すなわち、

1. 低電圧領域：略線形に振る舞う領域
2. 高電圧領域：低電圧領域における変化量の絶対値と比較して、小さい絶対値の変化量で振る舞う領域。

## 【0079】

ここで、上記2つの領域には、図11に示す以下の特徴がある。図11は低電圧領域と高電圧領域の駆動電圧を印加した場合の、放出電流 $I_e$ の時間変化を表したものである。ここで、放出電流 $I_e$ は、駆動電圧を印加して数秒後に得られた電流値によって規格化している。

## 【0080】

すなわち、低電圧領域における電子放出素子の一定電圧の駆動においては、数十時間程度の駆動では、1%以下の電流劣化で済み、電子放出特性にほぼ変化なく、比較的再現性がある。

## 【0081】

しかしながら、高電圧領域における電子放出素子の一定電圧の駆動においては、電流劣化が激しく、数十分程度の駆動で、10%以上の電流の減少を生じる。

## 【0082】

図8、図9および図10に示される電子放出特性は、印加電圧の単調増加によって得られる曲線を示した。



以降は、電子放出特性の不可逆性を詳しく説明するため、3つの印加電圧  $V_{f1}$ ,  $V_{f2}$ ,  $V_{f3}$  について  $V_{f2} > V_{f1}$  および  $V_{f2} > V_{f3}$  として、電圧と電流を、 $(V_{f1}, I_{e1})$ ,  $(V_{f2}, I_{e2})$ ,  $(V_{f3}, I_{e3})$  の順に増減させた場合に、 $V_f$  と  $\log(I_e)$  の関係において辿る曲線を図示すると、前述した図1と同様になる。

#### 【0083】

また、図1におけるデータのプロットを変更して、 $1/V_f$  と  $\log(I_e/V_{f2})$  の関係 ( $I-V$  特性) において辿る曲線を図示すると図12のようになる。

#### 【0084】

例えば、電圧  $V_{f1}$ 、電流  $I_{e1}$  で駆動していた電子放出素子において、この駆動電圧を上昇させると、 $I-V$  特性は途中で屈曲する。

#### 【0085】

この屈曲点までが初期の低電圧領域であり、この領域の  $I-V$  特性は再現性がある。

#### 【0086】

この屈曲点を過ぎると初期の高電圧領域に入り、このまま駆動電圧を上昇させていくと、図示したような片上がりの  $I-V$  特性を呈する。

#### 【0087】

ここで、電圧の上昇を、電圧  $V_{f2}$ 、電流  $I_{e2}$  の点  $P2$  で止める。次に、電圧  $V_{f2}$  より低い電圧値で電子放出素子を駆動すると、その  $I-V$  特性は、点  $P1 \sim P2$  までの屈曲点を経た曲線となることはなく、点  $P3 \sim P2$  まで  $I-V$  特性となる。この点  $P3 \sim P2$  まで  $I-V$  特性は印加電圧が電圧  $V_{f2}$  を越えない限り再現性がある。

#### 【0088】

その後、更に印加電圧を電圧  $V_{f2}$  を越えて上昇させると、 $P2$  を屈曲点とする  $I-V$  特性を示すことになる。

#### 【0089】

このように、炭素繊維の集合体を有する電子放出素子は、履歴上の最大印加電

圧が大きくなる度に、 $I - V$ 特性が変化するが、最大印加電圧を越えない限り、の  $I - V$  特性は実質的に変化しない。

#### 【0 0 9 0】

以上をまとめると、初期の低電圧領域と高電圧領域とを隔てる屈曲点は、最大印加電圧の上昇とともに移動し、過去に経験した最大印加電圧を  $V_{f2}$  とすると、点  $P2$  を境に  $V_{f2}$  駆動後の低電圧領域と高電圧領域とが生じることになる。

#### 【0 0 9 1】

すなわち、過去の最大印加電圧を更新するように、印加電圧の上昇と下降を繰り返す度に、電子放出特性が変化し、電子放出閾値だけでなく、低電圧領域、高電圧領域を分ける特性の折れ曲がりが不可逆的に変化することになる。

よって、過去の印加電圧の履歴が分らない場合には、屈曲点が現れるまで、印加電圧を徐々に上昇させ、その後、最大印加電圧を越えない範囲から駆動電圧を選択して、電子放出素子を駆動することが好ましい。

#### 【0 0 9 2】

こうして、本実施の形態の炭素繊維を用いた電子放出素子においては、その特性について次の特徴がある。すなわち、一度高電圧領域における電圧を経験したならば、もはや元の低電圧領域にもどることは不可能であるが、あたらしく変更された低電圧領域は、高電圧領域で経験した電圧値に対応する電流値までに、電流範囲が拡大される。

#### 【0 0 9 3】

つまり、図 1 及び図 1 2 を用いて説明すると、電圧  $V_{f1}$  から高電圧領域に入り、電圧  $V_{f2}$  を数秒程度経験した後に得られる低電圧領域の上限は、 $V_{f2}$  であり、この領域の上限に対応する電流値は  $I_{e2}$  である。

#### 【0 0 9 4】

一旦  $V_{f2}$  の駆動を経験し、この電圧で数秒程度駆動すると、図 1 に示すように、新たな低電圧領域が決定される。ここにおいて、 $V_{f2}$  駆動経験後の低電圧領域の上限は  $V_{f2}$  であり、それに対応する電流  $I_{e2}$  までに、低電圧領域における電流範囲が拡大される。

#### 【0 0 9 5】

実際に、電子放出素子を様々な用途に用いる場合には、印加電圧によって放出電流を制御しなければならず、それができるのは、再現性があり、 $\log(I_e/Vf^2)$  と  $1/Vf$  のプロット (F-Nプロット) で見た場合に、略線形関係がある、低電圧領域である。したがって、低電圧領域において出力できる電流範囲が、電子放出素子のダイナミックレンジである。

#### 【0096】

このことは、 $Vf^2$  を印加することによって、初期と比較して、電子放出素子のダイナミックレンジを広範囲化することができることを示している。

#### 【0097】

このような現象は、高電圧領域においては電子放出電流が大きいため、炭素繊維の抵抗による熱が生じ、その部分の炭素繊維が破壊されて電子放出特性の不可逆な変化が生じているものと思われる。

#### 【0098】

すなわち、炭素繊維の集合体に電圧を印加するとき、上記、低電圧領域においては、いかなる形状をもつ場所も、電子放出による熱は比較的小さく、破壊されることはない。そのため、低電圧領域内の駆動においては、劣化による電子放出特性の不可逆変化は少ない。しかしながら、上記、高電圧領域における駆動においては、形状不均一による放出電流のばらつきにおいて、特に放出電流の大きい場所は、炭素繊維を破壊するのに十分な熱が局所的に生じる。そのとき、その部分が破壊され、局所的に形状ならびに電子放出特性の不可逆変化がおこる。

#### 【0099】

こうして、強電界がかかる場所が破壊されることにより、炭素繊維の集合体における電子放出閾電圧値が上昇する。しかしながら、形状が不可逆変化した炭素繊維の集合は、電圧の増減に対する放出電流の再現が保たれる低電圧領域が、より高い放出電流範囲まで広域化している。これは、通常、強電界のかかる場所と比較して、弱電界のかかる場所が多数あることに起因していると考えられる。すなわち、高電圧領域での駆動により、強電界がかかる小数の箇所が破壊され、その箇所は電子放出しなくなるか、あるいは、弱電界がかかる形状へ不可逆変化する。その一方で、高電圧印加によっても破壊されない弱電界のかかる多数の場所

が本来存在するため、それらが、さらなる高電圧印加下において、不可逆変化なしに大きな電流を放出する。

#### 【0 1 0 0】

このような特性のため、表示などの実駆動時のように、長時間の電子放出素子の駆動に際し、高電圧領域において電子放出素子を駆動することは、電流劣化を起こすため、現実的ではない。

#### 【0 1 0 1】

したがって、安定な放出電流を維持するためには、最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい低電圧領域において駆動することが好ましい。

#### 【0 1 0 2】

また、もし、表示などの実駆動の際に、目的とする駆動電流値が、低電圧領域の上限以上に有る場合、目的とする駆動電流値が得られる高電圧領域内の電圧以上に上昇させた駆動電圧を一旦印加する、つまり、履歴上の最大印加電圧  $V_{max}$  を上昇させた後、最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい駆動電圧で電子放出素子を駆動するようにする。

#### 【0 1 0 3】

こうして、新たに得られる低電圧領域に対応する電流範囲は、目的とする駆動電流以上の領域までに拡大されるため、より時間的に安定な駆動状態が実現可能な低電圧領域において、目的とする駆動電流により電子放出素子の駆動が可能となる。

#### 【0 1 0 4】

本発明に用いられる電子放出素子は、以下のように製造できる。

#### 【0 1 0 5】

絶縁性基板 11 として、その表面を十分に洗浄した石英ガラス、PD 2 0 0 ガラス、Na 等の不純物含有量を減少させ K などに一部置換したガラス、青板ガラス及びシリコン基板等にスパッタ法等により  $SiO_2$  を積層した積層体、アルミナ等のセラミックスの絶縁性基板などから選択された基板を用意する。

#### 【0 1 0 6】

ゲート電極 12 および陰極電極 13 は導電性を有するように、蒸着法、スパッ

タ法等の一般的真空成膜技術、フォトリソグラフィー技術により、絶縁基板 1 上に形成される。ゲート電極 1 2 及び陰極電極 1 3 の材料は、例えば、炭素、金属、金属の窒化物、金属の炭化物、金属のホウ化物、半導体、半導体の金属化合物から適宜選択される。ゲート電極 1 2 及び陰極電極 1 3 の厚さとしては、10 nm～100  $\mu$ m の範囲で設定され、好ましくは炭素、金属、金属の窒化物、金属の炭化物の耐熱性材料が望ましい。

#### 【0107】

特に、後に述べる繊維状炭素の成長の場合は導電性を付与したシリコン、例えばドーパドポリシリコンなどが好ましい。

#### 【0108】

なお、この電極の厚さが薄いために電位降下などが心配される場合、あるいはマトリクス配列でこの素子を用いる場合は、必要に応じて低抵抗の配線用金属材料が電子放出に関与しない部分で用いるとよい。

#### 【0109】

エミッター材料（電子放出部材）14 は、スパッタ法等の一般的な真空成膜法等で絶縁性基板 1 上に堆積した膜を反応性イオンエッチング（RIE）などの手法を用いてエミッター形状に加工して形成する。或いは、CVD における核成長を利用した針状結晶の成長や、ひげ結晶の成長などを利用して形成する。エミッター形状の制御は、RIE による形成の場合には、用いる基板の種類、ガスの種類、ガス圧力（流量）、エッチング時間、プラズマを形成する時のエネルギーなどに依存する。一方、CVD による形成の場合には、基板の種類、ガスの種類、流量、成長温度などで制御される。

#### 【0110】

エミッター材料 14 は、炭素繊維の集合体であり、例えば、プレートレット型の炭素繊維、ヘリングボーン型の炭素繊維、バンブーライク型の炭素繊維からなる集合体、または、それらが混合された集合体で構成される。これらの炭素繊維は総じてグラファイトナノファイバーと呼ばれている。

#### 【0111】

因みに、本発明に用いることができる炭素繊維としては、グラファイトナノフ

ファイバーの他に、繊維の軸方向に対して筒状にグラファイトが積層した、マルチウォールカーボンナノチューブや、繊維の軸方向に対して筒状にグラファイトが一層だけ巻かれている、シングルウォールカーボンナノチューブ、或いはカーボンナノチューブの先端が閉じたカーボンナノホーンが挙げられる。しかしながら、前記グラファイトナノファイバーは、Vmax 制御による電子放出特性の制御性が比較的大きいので、マルチ電子源における複数の素子間の電子放出特性を調整しやすい。したがって、電子放出体としての炭素繊維の集合には、グラファイトナノファイバーによって構成されるか、カーボンナノチューブに対して、比較的多くのグラファイトナノファイバーが含まれている集合体がより好ましいものである。

#### 【0 1 1 2】

炭素繊維を成長させる触媒材料としてはFe、Coなどがカーボンナノチューブやグラファイトナノファイバーの形成において一般的に使用されるが、Pd、Niも触媒として用いることが出来る。

#### 【0 1 1 3】

特に、Pd、Niは低温（400℃以上の温度）でグラファイトナノファイバーを生成することが可能である。Fe、Coを用いたカーボンナノチューブの生成温度は800℃以上必要なことから、Pd、Niを用いてのグラファイトナノファイバー材料の作成は、低温で可能なため、他の部材への影響や、製造コストの観点からも好ましい。

#### 【0 1 1 4】

さらに、Pdは、その酸化物が水素により低温（室温）で還元される特性を用いて、核形成材料として酸化パラジウムを用いることが可能である。

#### 【0 1 1 5】

酸化パラジウムの水素還元処理を行うと、一般的な核形成技法として従来から使用されている金属薄膜の熱凝集や、超微粒子の生成と蒸着を用いずとも、比較的低温（200℃以下）で初期凝集核の形成が可能となる。

#### 【0 1 1 6】

前述の炭化水素ガスとしては、例えばエチレン、メタン、プロパン、プロピレ

ンなどの炭化水素ガス、CO、CO<sub>2</sub>ガスあるいはエタノールやアセトンなどの有機溶剤の蒸気を用いてもよい。

#### 【0117】

上記の炭素繊維のV<sub>max</sub>依存性といった電子放出特性は、特にグラファイトナノファイバーに顕著に見られる一方、カーボンナノチューブにおいては、比較的、あまり顕著には見られない。この様子を図13に示した。図13はカーボンナノチューブ(CNT)及びグラファイトナノファイバー(GNF)を電子放出部材に用いた電子放出素子の $1/V_f - \log(I_e/V_f^2)$ 特性を比較したグラフである。

#### 【0118】

グラファイトナノファイバーの電子放出特性においては、 $V_f = V_{f2}$ を印加した後に得られる低電圧領域が、初期の低電圧領域と比較して、顕著にシフトすることが分かるが、カーボンナノチューブの電子放出特性においては、 $V_f = V_{f2}$ を印加しても、電子放出特性のシフトが顕著に現れにくい。また、グラファイトナノファイバーは、電子放出特性のF-Nプロットにおいて、点P4に示すように折れ曲がりが見え、高電圧領域と低電圧領域の区別がつくが、カーボンナノチューブは点P5に示すように、屈曲点はあまり明確ではない。

#### 【0119】

そのため、後述するマルチ電子源において、各素子の特性を合わせる調整方法を実行するために、カーボンナノチューブ及びグラファイトナノファイバーの集合体を電子放出体として用いることができるが、より好ましくは上述の理由からグラファイトナノファイバーの集合体を電子放出体として用いる方がよい。

#### 【0120】

(実施形態3)

本発明の実施形態3による電子源の駆動方法及び製造方法について説明する。

#### 【0121】

図14は、上記の方法によって作製した素子をマトリックス状に配置したマルチ電子源である。図15は、図14におけるA-A'間の断面を表している。

#### 【0122】

列方向配線 161 は、素子のゲート電極に相当する。行方向配線 162 は、素子のカソード電極 163 と電氣的に接合している。電子放出体 164 は、素子のカソード電極 163 と電氣的に接合しており、本実施の形態においては炭素繊維の集合体である。これらは、図 15 から分かるように、基板 171 上に形成されている。そして、この図 14 に示されるマルチ電子源の上には、スペーサを介して、アノード電極が対向しており、カソード電極の電位に対して正の電圧  $V_a$  が印加されるように構成されている。

### 【0123】

図 16 は、本実施の形態に係るマルチ電子源を駆動する際に印加される電圧の様子を説明するための模式的断面図である。

### 【0124】

図 16 に示すように、このマルチ電子源は、列方向配線と行方向配線を選択して、電圧を印加することにより、選択的に素子を駆動することができる。たとえば、選択する列の列方向配線に  $V_x = V_1$  なる電圧を印加し、非選択行には  $V_x = V_2$  なる電圧を印加する。次に行方向配線を選択し、 $V_y = V_3$  なる電圧を印加するならば、選択列の素子には、 $V_f = V_1 - V_3$  の駆動電圧が印加され、非選択列の素子には、 $V_f = V_2 - V_3$  なる駆動電圧が印加される。この、 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$  の大きさを適当な大きさにすることにより、駆動する素子を一つだけ選択し、他の素子を駆動しない状態を実現することができる。このような方法を用いて、各素子の電子放出特性を個別に調べることができる。

### 【0125】

マルチ電子源における複数の電子放出素子において、 $V_f = V_{f1}$  なる駆動電圧をかけたときの、ゲート電極に印加される駆動電圧  $V_f$  に対する、アノード電極に到達する放出電流  $I_e$  についてのそれぞれの素子の初期特性としての  $I - V$  特性は図 17 に示すように必ずしも一定ではない。

### 【0126】

図 17 は、異なる電子放出素子の  $1/V_f - \log(I_e/V_f^2)$  特性を比較したグラフである。例えば、マルチ電子源中の素子 A、素子 B、素子 C において、それぞれの初期特性は、図 17 に示す F-N プロットに示すように異なっ



いる。このとき、素子A、素子B、素子Cの順に、 $F-N$ プロットの傾きの絶対値は大きく、電子放出閾値が小さい。

#### 【0127】

前記したように、炭素繊維を電子放出体として用いた電子放出素子には、 $V_{max}$ 依存性がある。これは、電子放出体が過去に印加された最大電圧によって、その特性が非可逆的に変化することである。このとき、図17の $F-N$ プロットにおいて、 $V_{max}$ 上昇により、曲線は全体的に左側へシフトする。

#### 【0128】

これは、素子Aは素子Cの電子放出特性に合わせることができ、素子Cを素子Aの電子放出特性に合わせることができないことを示す。また、素子Aが、他の素子と比較して、電子の出やすい構造を、初期に炭素繊維の集合体内に含有し、 $V_{max}$ 上昇によってそれを破壊することによって、他の素子の電子放出特性に近づけることができるためである。しかしながら、素子Cは、もともと他の素子と比較して、電子の出やすい構造を持たないために、 $V_{max}$ を上昇させても、より電子が出にくくなることはあっても、電子が出やすくなる状態にはならない。したがって、マルチ電子源の各素子の電子放出特性を合わせようとするとき、図17においては、素子Cを基準として、他の素子の $I-V$ 特性を素子Cの $I-V$ 特性に近づけるようにする。

#### 【0129】

次に、素子A、素子Bを素子Cに合わせる方法を説明する。図18は、異なる電子放出素子の特性を均一化する方法を説明するために $1/V_f - \log(I_e/V_f^2)$ 特性を比較したグラフである。

#### 【0130】

まず、素子A、素子Bを素子Cのそれぞれが、どういう初期特性を持っているのかを調べるために、各素子の特性を測定するための特性測定電圧を、それぞれに印加する。今の場合、印加電圧を $V_f = 0$ から $V_f = V_{f1}$ に上昇させることにより、 $V_f = 0$ から $V_f = V_{f1}$ の範囲内の特性を知ることができる。この工程を測定工程と呼ぶ。

#### 【0131】

次に、上記したように、各素子の低電圧領域を合わせるために、基準となる素子を選択する。上記したように、基準となる素子は、今の場合、素子Cである。素子Cが基準となることを認識するためには、例えば、 $V_f = V_{f1}$ における放出電流、あるいは、 $\log(I_e/V_f^2)$ の値がもっとも小さい値を持つ素子を選択し、これを基準素子とする。そして、基準素子の特性から電子放出特性の基準値を求める。この工程を基準値選択工程と呼ぶ。

#### 【0132】

次に、基準素子選択工程において選択された基準素子に応じた特性になるように、他の素子に対し、特性シフト電圧を印加する工程を施す。この工程を特性シフト電圧印加工程と呼ぶ。この電圧の最大値が各素子毎の最大印加電圧  $V_{max}$  ということになる。すなわち、まず素子Aに印加する駆動電圧を上昇させてゆく。すると、ある電圧以上において、F-Nプロットの傾きの絶対値が急激に減少し、素子Aは高電圧領域に入る。高電圧領域に入った後は、電圧をすこしずつ上昇させるが、頻繁に電圧を下げて、新しく形成される低電圧領域における電子放出特性を調べながら、 $V_{max}$  を上げてゆく。

#### 【0133】

これは、素子Cの特性に合わせるために、素子Aの  $V_{max}$  をどれだけ上昇させるべきかが最初から分かっていないので、小刻みに各  $V_{max}$  で得られる低電圧領域の電子放出特性を調べる必要があるからである。このようにして、素子Aの  $V_{max}$  を  $V_f = V_{f3}$  まで上昇させたときに、素子Aの特性は、素子Cの特性に合わせられる。素子Bについても同様の方法を用いて、素子Bの  $V_{max}$  として、 $V_f = V_{f2}$  まで上昇させることにより、素子Cの特性に合わせることができる。

#### 【0134】

こうして、所定の電圧を印加した場合に放出される電子の量が相対的に少ない電子放出素子の I-V 特性と、前記電子の量が相対的に多い他の電子放出素子の I-V 特性とが近づくように、前記駆動電圧よりも大きな電圧  $V_{max}$  を前記他の電子放出素子に印加する工程を行った後に、入力された画像データに応じて、前記複数の電子放出素子を駆動するために前記陰極と前記対向電極との間に前記

最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい駆動電圧  $V$  を印加する。これにより、各素子から画像データに対応した量の電子が放出され、これに基づいて蛍光体が発光し、良好な画像を得ることができる。

#### 【0135】

上記の方法は、素子Cの初期の特性に合わせる方法を示した。しかしながら、初期における素子Cの低電圧領域が、所望の放出電流量を満足しない場合がある。この場合は、下記に述べるように、再度、特性シフト電圧を各素子に加え、各素子の  $V_{max}$  を上昇させる。具体的には、素子Cの  $V_{max}$  を上昇させて高電圧領域に入れて、低電圧領域を広げる、すなわち、素子Cのダイナミックレンジを広げたのち、それを基準の電子放出特性として、他の素子の特性をそれに合わせる方法を行う。この工程を基準素子電圧調整工程と呼ぶ。

#### 【0136】

上記方法を説明するために図19を用いて説明する。まず、所望の放出電流量に対応する、縦軸の値に達するまでに、素子Cの  $V_{max}$  を上昇させる。すなわち、 $V_f = V_{f1}'$  まで素子Cの  $V_{max}$  を上昇させる。その後、前記した方法と同様にして、素子A、素子Bのそれぞれの  $V_{max}$  を、素子Cの低電圧領域の電子放出特性に合うように上昇させる。すなわち、図19においては、素子Aの  $V_{max}$  は  $V_f = V_{f3}'$ 、素子Bの  $V_{max}$  は  $V_f = V_{f2}'$  まで上昇させる。こうして、マクロ電子源において、各素子が所望の電流を放出するとともに、各素子の電子放出特性が均一な状態を実現することができる。

#### 【0137】

こうして、再び、所定の電圧を印加した場合に放出される電子の量が相対的に少ない電子放出素子の  $I-V$  特性と、前記電子の量が相対的に多い他の電子放出素子の  $I-V$  特性とを近づけた後に、入力された画像データに応じて、前記複数の電子放出素子を駆動するために前記陰極と前記対向電極との間に前記最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい駆動電圧  $V$  を印加することにより、各素子から画像データに対応した量の電子が放出され、これに基づいて蛍光体が発光し、良好な画像を得ることができる。

#### 【0138】

このような、再度の特性シフト電圧の印加（基準素子電圧調整工程）は、マルチ電子源の駆動の時間劣化によって、必要とする放出電流量が得られなくなった場合に、その状態を改善するためにも用いることができる。

#### 【0139】

図20は、基準素子電圧調整工程を説明するために  $1/V_f - \log(I_e/V_f^2)$  特性を比較したグラフである。

#### 【0140】

図20に示すように、各素子が時間劣化し、素子Cが必要とする放出電流が得られなくなった場合には、素子A、素子B、素子Cのそれぞれの特性を測定しつつ、最終的に素子A、素子B、素子Cにそれぞれ、 $V_{f1}$ 、 $V_{f2}$ 、 $V_{f3}$  を印加するという、再度の特性シフト電圧の印加により、マルチ電子源は再び所望の性能を満足することができる。

#### 【0141】

上記したマルチ電子源の調整方法は、炭素繊維の集合からなる電子放出体からアノード電極へ放出される放出電流と駆動電圧との関係を測定することにより、各素子の電子放出特性を測定している。また、各素子の電子放出特性を測定するその他の手段としては、あらかじめアノード電極への放出電流と、カソード電極へ取り込まれる放出電流の比を測定することによって、電子放出体に流れ込む、素子電流と、駆動電圧の関係から、素子の電子放出特性を知ることができる。

#### 【0142】

また、アノード電極の表面に蛍光薄膜を配置し、電子放出体からの放出電子がアノード電極に衝突した際に、蛍光発光することを利用することも可能である。すなわち、あらかじめ素子からの放出電流と、蛍光発光強度の関係を測定することによって、蛍光発光強度と、駆動電圧の関係から、素子の電子放出特性を知ることができる。

#### 【0143】

以上の本実施形態の電子源の駆動方法をまとめると、

炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に駆動電圧を印加することで、前記電子放出体から

電子を放出し得る複数の電子放出素子が、基板上に形成された電子源の駆動方法であって、

前記複数の電子放出素子のうち所定の電圧を印加した場合に放出される電子の量が相対的に少ない電子放出素子の  $I-V$  特性と、前記電子の量が相対的に多い他の電子放出素子の  $I-V$  特性とが近づくように、前記駆動電圧よりも大きな電圧  $V_{max}$  を前記他の電子放出素子に印加する工程と、

入力されたデータに応じて、前記複数の電子放出素子を駆動するために前記陰極と前記対向電極との間に前記最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい駆動電圧  $V$  を印加する工程と、

を含むことを特徴とする。

#### 【0144】

##### 【実施例】

以下、本発明の実施例を詳細に説明する。

#### 【0145】

##### （実施例1）

図21は、本実施例に係る電子放出素子の製造工程を説明するための模式的断面図である。

#### 【0146】

##### （工程1）

石英基板である基板11を十分洗浄を行った後、ゲート電極12として厚さ5nmのTi、及び、陰極（エミッター）電極13として厚さ30nmのポリSi（砒素ドーパ）を、それぞれスパッタ法により基板11上に連続的に蒸着した。

#### 【0147】

次に、フォトリソグラフィ工程で、ポジ型フォトレジスト（AZ1500／クラリアント社製）を用いてレジストパターンを形成した。

#### 【0148】

次に、パターンニングした前記フォトレジストをマスクとしてポリSi（砒素ドーパ）層、Ti層は $CF_4$ ガスを用いてドライエッチングを行い、電極ギャップ間が5 $\mu m$ からなる引き出し電極12、および陰極電極13を形成した（図21

(a) ) 。

【 0 1 4 9 】

(工程 2)

次に、基板全体に C r を E B 蒸着にて約 1 0 0 n m の厚さ分堆積した。

【 0 1 5 0 】

フォトリソグラフィ工程で、ポジ型フォトレジスト (A Z 1 5 0 0 / クラリアント社製) を用いてレジストパターンを形成した。

【 0 1 5 1 】

次に、パターンニングした前記フォトレジストをマスクとし、電子放出材料を被覆すべき領域 ( 1 0 0 μ m 角) を陰極電極上に形成し、開口部の C r を硝酸セリウム系のエッチング液で取り除いた。

【 0 1 5 2 】

レジストを剥離した後、スパッタリング法により、電子放出材料である炭素繊維の成長触媒金属である、P d と C o を 1 対 1 の比にて、アイランド状に形成した。

【 0 1 5 3 】

形成後、C r を硝酸セリウム系のエッチング液にて取り除いた (図 2 1 (b) ) 。

【 0 1 5 4 】

(工程 3)

炭素繊維成長炉内に基板 1 1 を配置し、成長炉内の大気を  $10^{-4}$  T o r r ままで排気後、窒素により 2 % に希釈した水素ガスを大気圧まで満たした後、基板を、前記水素ガス気流中において、6 0 0 ℃ に加熱して熱処理を行った。この段階で素子表面には粒子の直径が約 1 0 ~ 3 0 n m の微粒子 5 2 が形成された。この時の粒子の密度は約  $10^{11} \sim 10^{12}$  個 / c m <sup>2</sup> と見積もられた (図 2 1 (c) ) 。

【 0 1 5 5 】

(工程 4)

続いて、前記水素ガスに加えて、窒素希釈した 1 % エチレンガスを導入し、そ

の気流中で600℃、10分間加熱処理をした。これを走査電子顕微鏡で観察すると、Pd塗布領域に直径30nm～50nm程度で、屈曲しながら繊維状に伸びた多数の繊維状カーボンが形成されているのがわかった。このとき繊維状カーボンの厚さは約1nmとなっていた。

#### 【0156】

本素子を図7に示したような真空装置60に設置し、真空排気装置62によって $2 \times 10^{-5}$  Paに到達するまで十分に排気した。素子から $H = 2$  mm離れた陽極（アノード）61に、陽極（アノード）電圧として $V_a = 1.0$  kV印加した。このとき素子には駆動電圧 $V_f = 1.5$  Vからなるパルス電圧を印加して流れる素子電流 $I_f$ と電子放出電流 $I_e$ を計測した。

#### 【0157】

素子の $I_f$ 、 $I_e$ 特性は図8に示したものと同一ような特性であった。

#### 【0158】

すなわち印加電圧 $V_f$ を0 Vから増加させてゆくと、 $V_f = V_{th}$ から $I_e$ が急激に増加しはじめた。そして、 $V_f = 1.5$  Vまで増加させて、そこで電圧値を維持した。このとき、約1  $\mu$  Aの電子放出電流 $I_e$ が測定された。一方 $I_f$ は $I_e$ の特性に類似していたが、その値は $I_e$ と比較して一桁以上小さな値であった。

#### 【0159】

また、このときの電圧印加は、単調増加させているが、0 Vから最大値1.5 Vまでの電圧領域におけるF-Nプロットをとったところ、略線形な低電圧領域までしかなく、略線形な直線の高電圧領域への折れ曲がり、この電圧領域においては測定されなかった。したがって、このときの駆動は高電圧領域での電圧駆動では無い。また、上記 $V_f = 1.5$  V、そのときの放出電流 $I_e = 1$   $\mu$  AのF-Nプロット上の点は、本電子放出素子の上記駆動における低電圧領域内にあることが分かった。

#### 【0160】

つぎに、上記 $V_f = 1.5$  Vが $V_{max}$ であるので、これより低い $V_f = 1.4$  Vによる電圧駆動において本発明の電子放出素子を持続させたところ、100時間

の駆動後において、放出電流は  $I_e = 1 \mu A$  から、 $I_e = 0.6 \mu A$  程度まで減少した。すなわち、半減時間は、100時間以上であると推測できる。実際の画像形成装置における駆動においては、Duty比が  $1/600$  の 50 Hz パルス波によって駆動するので、実製品の駆動に耐えうる十分に長時間の駆動ができることが判明した。

#### 【0161】

また、 $V_f = 10 V$  程度のより低い電圧で素子を駆動したところ、これでも安定した放出電流が得られた。

#### 【0162】

##### (実施例 2)

実施例 1 における電子放出素子の製造工程と同等な工程によって製作した、炭素繊維を用いた電子放出素子の駆動は、初期の駆動において、引き出し電極 12 と陰極電極 13 間に印加する印加電圧を 0 V から 40 V まで単調増加させたのち単調に減少させた。このときの電子放出特性の F-N プロットは、昇電圧過程において、約 30 V (このときの電流はおよそ  $12 \mu A$ ) までは略線形の関係にあった。この時の陽極電圧は  $V_a = 10 K V$  である。

#### 【0163】

しかし、印加電圧 30 V 付近において、F-N プロット上の傾きの絶対値が急激に減少し、印加電圧 30 V 以上の昇電圧過程においては、再び略線形の関係に従った。この振る舞いから、本実施例の電子放出素子においては、約  $V_f = 30 V$  が、初期の低電圧領域と、高電圧領域の境であると考えられる。その後、印加電圧を 40 V まで上昇させたが、このときの放出電流は、およそ  $16 \mu A$  であった。この後、印加電圧を 35 V まで減少させたが、このときの電子放出特性を見ると、昇電圧時とは異なる略線形の関係に従った。35 V に到達したときの放出電流は、およそ  $13 \mu A$  であった。

#### 【0164】

そこで、上記  $V_f = 35 V$  による電圧駆動において本発明の電子放出素子を持続させたところ、100時間の駆動後において、放出電流は  $I_e = 13 \mu A$  から、 $I_e = 8 \mu A$  程度まで減少した。すなわち、半減時間は、100時間以上であ



ると推測できる。実際の画像形成装置における駆動においては、Duty比が1／600の50Hzパルス波によって駆動する。したがって、実製品においては十分に長時間の駆動に耐えうることが判明した。

#### 【0165】

(実施例3)

図3で述べた本実施の形態に係る電子放出素子の作製方法を更に詳述する。

#### 【0166】

(工程1)

まず、基板にイオンビームスパッタリング法により、陰極基板102表面に厚さ100nmのTiN薄膜101を作製する(図3(a))。

#### 【0167】

(工程2)

次に、RFスパッタリング法によりTiN薄膜101上に、炭素繊維の成長を促進する触媒微粒子103を作製する(図3(b))。触媒微粒子103は、パラジウムとコバルトがそれぞれ50atm%ずつ含まれた合金を、陰極基板上に成膜した。成膜後の膜厚は約20Åであった。

#### 【0168】

(工程3)

次に、触媒微粒子103が配置された陰極基板102を炉に入れ炉に入れ、水素2%、ヘリウム98%による希釈水素ガスを100sccmの流量で炉に供給しながら、550℃の温度で、10分間加熱処理する。その結果、基板上に触媒微粒子103の集合が形成された。触媒微粒子103の直径は、5nmから30nmの範囲内にあった(図3(b))。

#### 【0169】

(工程4)

次に、陰極基板102を、水素2%、ヘリウム98%による希釈水素ガスを100sccmの流量で、また、エチレン2%、ヘリウム98%による希釈エチレンガスを200sccmの流量で炉に供給しながら、550℃の温度で40分間加熱処理した結果、炭素繊維が形成された。この炭素繊維の集合は、膜形状をし

ており、その膜厚は約  $7.5 \mu\text{m}$  であり、繊維の直径は  $5 \text{ nm}$  から  $30 \text{ nm}$  の範囲内にあった（図 3（c））。

#### 【0 1 7 0】

今、上記工程によって電極基板上に作製された膜に対して、図 2 のように、スペーサをはさんでアノード電極を対向させることによって構成される素子を素子 A と名付ける。

#### 【0 1 7 1】

また、上記工程における工程 4 において、 $550^\circ\text{C}$  の温度での加熱時間を、20 分とし、他の工程はすべて同一の方法で作製した膜によって、図 2 のように構成される素子を素子 B と名付ける。このとき、素子 B における膜厚は、約  $3 \mu\text{m}$  であり、繊維の直径は  $5 \text{ nm}$  から  $30 \text{ nm}$  の範囲内にあった。

#### 【0 1 7 2】

この 2 つの膜、素子 A と素子 B の駆動の様子を表した図を、図 2 2 に示す。今、素子 A における駆動電圧を  $V_a$ 、素子 B における駆動電圧を  $V_b$  とする。まず、素子 B を駆動しはじめ、駆動電圧  $V_b = 0 \text{ V}$  から昇圧しはじめ、閾電圧  $V_b = V_{thb}$  から放出電流  $I_{eb}$  が立ち上がり、 $V_b = 1.37 \text{ kV}$  で昇圧を止めた。 $V_b = 1.37 \text{ kV}$  において、 $I_{eb} = 10 \mu\text{A}$  の放出電流を得た。この駆動電圧における F-N プロットにおける点を、図 2 2 における点 P 3 で示す。この駆動電圧においては、F-N プロットの略線形領域にあり、低電圧領域に入っている。素子 B の駆動電圧  $V_b$  の上昇はここで止めて、 $V_b = 0 \text{ V}$  に降圧させ、一旦駆動を止めた。このとき降圧によって描く曲線は、昇圧の曲線に対し、やや電流の小さい下回りの曲線を描いたが、ほぼ同一の曲線とみなせる範囲内であった。

#### 【0 1 7 3】

次に、素子 A の駆動を開始し、 $V_a = 0 \text{ V}$  から昇圧させ、 $V_a = V_{tha}$  において、放出電流  $I_{ea}$  が立ち上がりはじめた。このとき、 $V_{tha} < V_{thb}$  であり、初期における閾駆動電圧値は、素子 B に対して、素子 A は低かった。

#### 【0 1 7 4】

$V_{fa} = 0.78 \text{ kV}$  まで昇圧させたところ、 $I_{ea} = 8 \mu\text{A}$  を検出した。こ

の電圧における F-N プロット上の点を点 P 1 として表す。点 P 1 は、この時点の素子 A の F-N プロットは、略線形であり、低電圧領域であった。また、点 P 1 を含む低電圧領域での曲線から算出した  $\beta$  は、素子 B における F-N プロットの点 3 を含む低電圧領域での曲線から算出した  $\beta$  よりも、 $9/5$  倍程度高い値であったが、 $\alpha$  については、素子 A における点 P 1 を含む低電圧領域での曲線から算出した  $\alpha$  は、素子 B における点 P 3 を含む低電圧領域での曲線から算出した  $\alpha$  よりも、 $1/20$  倍程度小さい値であった。

#### 【0 1 7 5】

次に、素子 A の駆動電圧  $V_a$  を昇圧させてゆくと、 $V_a = 0.9 \text{ kV}$  から F-N プロットの折れ曲がりが生じ、傾きの絶対値が減少した。すなわち、これは、素子 A において、このとき高電圧領域に入ったことを示す。さらに、 $V_a = 1.8 \text{ kV}$  まで昇圧させたところ、このときの放出電流は、 $I_{ea} = 2 \text{ mA}$  であった。この時の F-N プロット上の点を、図 2 2 における点 P 2 で示す。

#### 【0 1 7 6】

次に、 $V_a$  を降圧させてゆくと、昇圧時と異なる曲線を描いて、放出電流が下がっていった。この曲線は略線形であり、 $V_{max}$  を上昇させた後にできる新たな略線形領域に入ったことを示している。そして、この曲線は点 P 3 を通った。点 P 3 において、 $V_a = 1.37 \text{ kV}$ 、 $I_{ea} = 10 \text{ uA}$  であり、素子 B で得られた値とほぼ一致していた。また、この降圧曲線から、 $\alpha$  と  $\beta$  を算出したところ、素子 B の電子放出特性から得られた値とほぼ一致した。

#### 【0 1 7 7】

つまり、本例の場合、陰極と対向電極間の最大印加電圧  $V_{max}$  ( $V_a$ ) を  $1.8 \text{ kV}$  とし、その後の駆動電圧を  $V_a = 1.37 \text{ kV}$  とすることにより、安定した良好な放出電流が得られた。

#### 【0 1 7 8】

したがって、本実施の形態によれば、製造直後で特性の異なる炭素繊維を用いた複数の電子放出素子の電子放出特性を、各素子の  $V_{max}$  を制御することによって合わせることができ、それぞれの素子において安定な駆動を行うことができる。

## 【0 1 7 9】

また、図 7 に示したような 3 端子の電子放出素子の場合には、制御すべき最大印加電圧  $V_{max}$  と、駆動電圧  $V$  は、引き出し電極と陰極間の印加電圧  $V_f$  ではなく、陰極と陽極間の印加電圧  $V_a$  に適用してもより。更には  $V_f$ 、 $V_a$  がともに、駆動時においてそれぞれの履歴上の最大印加電圧  $V_{fmax}$ 、 $V_{amax}$  より小さい電圧でそれぞれ駆動されること好ましいものである。

## 【0 1 8 0】

また、本発明の実施の形態には、次の実施態様も含まれる。

## 【0 1 8 1】

## [実施態様 1]

炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に電圧を印加し、前記電子放出体から電子を放出させる電子放出素子の駆動方法であって、

駆動開始までに前記陰極と前記対向電極との間に印加された最大電圧を最大印加電圧  $V_{max}$  とすると、前記電子放出素子を駆動するために前記陰極と前記対向電極との間に前記最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい駆動電圧  $V$  を印加することを特徴とする電子放出素子の駆動方法。

## 【0 1 8 2】

## [実施態様 2]

前記駆動電圧  $V$  は、該駆動電圧  $V$  が印加されたときの放出電流を  $I$  とすると、 $1/V$  対  $\log(I/V^2)$  の関係が略線形となる低電圧領域から選択されることを特徴とする実施態様 1 に記載の電子放出素子の駆動方法。

## 【0 1 8 3】

## [実施態様 3]

前記炭素繊維の集合体は、プレートレット型の炭素繊維、ヘリングボーン型の炭素繊維、バンブーライク型の炭素繊維、シングルウォールカーボンナノチューブ、マルチウォールカーボンナノチューブ、または、それらが混合された集合体であることを特徴とする実施態様 1 または 2 に記載の電子放出素子の駆動方法。

## 【0 1 8 4】

## [実施態様 4]

炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に駆動電圧を印加することで、前記電子放出体から電子を放出し得る複数の電子放出素子が、基板上に形成された電子源の駆動方法であって、

前記複数の電子放出素子のうち所定の電圧を印加した場合に放出される電子の量が相対的に少ない電子放出素子の  $I-V$  特性と、前記電子の量が相対的に多い他の電子放出素子の  $I-V$  特性とが近づくように、前記駆動電圧よりも大きな電圧  $V_{max}$  を前記他の電子放出素子に印加する工程と、

入力されたデータに応じて、前記複数の電子放出素子を駆動するために前記陰極と前記対向電極との間に前記最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい駆動電圧  $V$  を印加する工程と、

を含むことを特徴とする電子源の駆動方法。

## 【0185】

## [実施態様 5]

前記駆動電圧  $V$  は、該駆動電圧  $V$  が印加されたときの放出電流を  $I$  とすると、 $1/V$  対  $\log(I/V^2)$  の関係が略線形となる低電圧領域から選択されることを特徴とする実施態様 4 に記載の電子放出素子の駆動方法。

## 【0186】

## [実施態様 6]

前記炭素繊維の集合体は、プレートレット型の炭素繊維、ヘリングボーン型の炭素繊維、バンブーライク型の炭素繊維、シングルウォールカーボンナノチューブ、マルチウォールカーボンナノチューブ、または、それらが混合された集合体であることを特徴とする実施態様 4 または 5 に記載の電子放出素子の駆動方法。

## 【0187】

## [実施態様 7]

炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に駆動電圧を印加することで、前記電子放出体から電子を放出し得る複数の電子放出素子が、基板上に形成された電子源の製造方法

であって、

前記複数の電子放出素子のうち所定の電圧を印加した場合に放出される電子の量が相対的に少ない電子放出素子の  $I-V$  特性と、前記電子の量が相対的に多い他の電子放出素子の  $I-V$  特性とが近づくように、前記駆動電圧よりも大きな電圧を前記他の電子放出素子に印加することを特徴とする電子源の製造方法。

#### 【0188】

##### 〔実施態様 8〕

前記  $I-V$  特性は、 $1/V$  対  $\log(I/V^2)$  の関係が略線形である低電圧領域において、前記  $1/V$  対  $\log(I/V^2)$  の関係における傾きと切片であることを特徴とする実施態様 7 に記載の電子源の製造方法。

#### 【0189】

##### 〔実施態様 9〕

炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に駆動電圧を印加し、前記電子放出体から電子を放出させる複数の電子放出素子を、基板上においてマトリックス状に形成した電子源の製造方法であって、

前記複数の電子放出素子のそれぞれの電子放出特性を測定するために特性測定電圧を印加する測定工程と、

測定された前記電子放出特性に基づいて前記複数の電子放出素子の特性の基準値を求める基準値選択工程と、

前記複数の電子放出素子の特性を前記基準値に応じた値になるように前記複数の電子放出素子のそれぞれに特性シフト電圧を印加する特性シフト電圧印加工程と、

を有することを特徴とする電子源の製造方法。

#### 【0190】

##### 〔実施態様 10〕

前記特性シフト電圧印加工程の後に、

前記複数の電子放出素子の特性を再度測定する工程と、

再度測定の結果に基づいて該当する電子放出素子に特性シフト電圧を再度印加

する工程と、

を有することを特徴とする実施態様 9 に記載の電子源の製造方法。

【0 1 9 1】

[実施態様 1 1]

前記測定工程では、各電子放出素子を駆動する毎に、当該電子放出素子より放出される放出電流を測定することを特徴とする実施態様 9 または 1 0 に記載の電子源の製造方法。

【0 1 9 2】

[実施態様 1 2]

前記測定工程は、各電子放出素子を駆動する毎に、該電子放出素子を通れる電流を測定することを特徴とする実施態様 9、1 0 または 1 1 に記載の電子源の製造方法。

【0 1 9 3】

[実施態様 1 3]

前記測定工程は、各電子放出素子を駆動する毎に、該電子放出素子より放出される電子により発光される蛍光体の発光輝度を測定し、その測定した輝度を前記放出電流または素子電流に相当する値に変換することを特徴とする実施態様 9、1 0 または 1 1 に記載の電子源の製造方法。

【0 1 9 4】

[実施態様 1 4]

前記炭素繊維の集合体は、プレートレット型の炭素繊維、ヘリングボーン型の炭素繊維、バンブーライク型の炭素繊維、シングルウォールカーボンナノチューブ、マルチウォールカーボンナノチューブ、または、それらが混合された集合体であることを特徴とする実施態様 9 乃至 1 3 のいずれかに記載の電子源の製造方法。

【0 1 9 5】

【発明の効果】

本発明の電子放出素子及び電子源の駆動方法によって、長時間にわたって電流劣化が少なく、安定な電子放出を維持できる、炭素繊維を用いた電子放出素子の

駆動が実現した。さらに、本発明のマルチ電子源の製造方法によって、長時間にわたり、全体にわたって、均一で好適な電子放出特性を維持することが可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本実施の形態に係る電子放出素子の不可逆特性を説明するための  $V_f - \log(I_e)$  特性を示すグラフである。

【図 2】

電子放出素子の一例を示す模式図である。

【図 3】

陰極電極と陰極電極上の電子放出素子の作製方法を示す断面模式図である。

【図 4】

電子放出素子の  $I - V$  特性を示したグラフである。

【図 5】

電子放出素子の  $F - N$  特性を示したグラフである。

【図 6】

(a) はゲート電極を具備した炭素繊維の集合を電子放出体として用いた電子放出素子の模式的上面図、(b) は (a) の A-A 間断面図である。

【図 7】

電子放出素子から放出された電子が陽極に向かう様子を説明するための模式図である。

【図 8】

電子放出素子の  $V_f - I_e$  特性を示すグラフである。

【図 9】

電子放出素子の  $V_f - \log(I_e)$  特性を示すグラフである。

【図 10】

電子放出素子の  $1/V_f - \log(I_e/V_f^2)$  特性を示すグラフである。

【図 11】

電子放出素子の  $\log(t) - I_e(\text{normalized})$  特性を示したグ



ラフである。

【図 12】

本実施の形態に係る電子放出素子の不可逆特性を説明するための  $1/V_f - \log(I_e/V_f^2)$  特性を示すグラフである。

【図 13】

カーボンナノチューブ (CNT) 及びグラファイトナノファイバー (GNF) を電子放出部材に用いた電子放出素子の  $1/V_f - \log(I_e/V_f^2)$  特性を比較したグラフである。

【図 14】

電子放出素子をマトリックス状に配置したマルチ電子源の模式的上面図である。

【図 15】

図 14 に示すマルチ電子源の A-A' 断面図である。

【図 16】

マルチ電子源を駆動する際に印加される電圧の状態を説明するための模式的断面図である。

【図 17】

異なる電子放出素子の  $1/V_f - \log(I_e/V_f^2)$  特性を比較したグラフである。

【図 18】

本発明の実施の形態による、異なる電子放出素子の特性を均一化する方法を説明するために  $1/V_f - \log(I_e/V_f^2)$  特性を比較したグラフである。

【図 19】

特性シフト電圧印加工程を説明するために  $1/V_f - \log(I_e/V_f^2)$  特性を比較したグラフである。

【図 20】

基準素子電圧調整工程を説明するために  $1/V_f - \log(I_e/V_f^2)$  特性を比較したグラフである。

【図 21】

電子放出素子の製造工程を説明するための模式的断面図である。

【図 2 2】

実施例 2 に係る電子放出素子の F - N 特性を示したグラフである。

【図 2 3】

マルチ電子源の概略模式図である。

【符号の説明】

- 1 1 基板
- 1 2 ゲート電極
- 1 3 陰極電極
- 1 4 エミッター材料
- 5 2 微粒子
- 6 0 真空装置
- 6 1 アノード
- 6 2 真空排気装置
- 6 3 等電位線
- 6 5 真空排気装置
- 9 1 電圧源
- 9 2 陰極基板
- 9 3 陰極電極
- 9 4 炭素繊維
- 9 5 陽極電極
- 9 6 陽極基板
- 9 7 真空容器
- 9 8 排気係
- 1 0 1 薄膜
- 1 0 2 陰極基板
- 1 0 3 触媒微粒子
- 1 0 4 炭素繊維
- 1 6 1 列方向配線

1 6 2 行方向配線

1 6 3 カソード電極

1 6 4 電子放出体

1 7 1 基板

4 0 0 2 行方向配線

4 0 0 3 列方向配線

4 0 0 4 配線抵抗

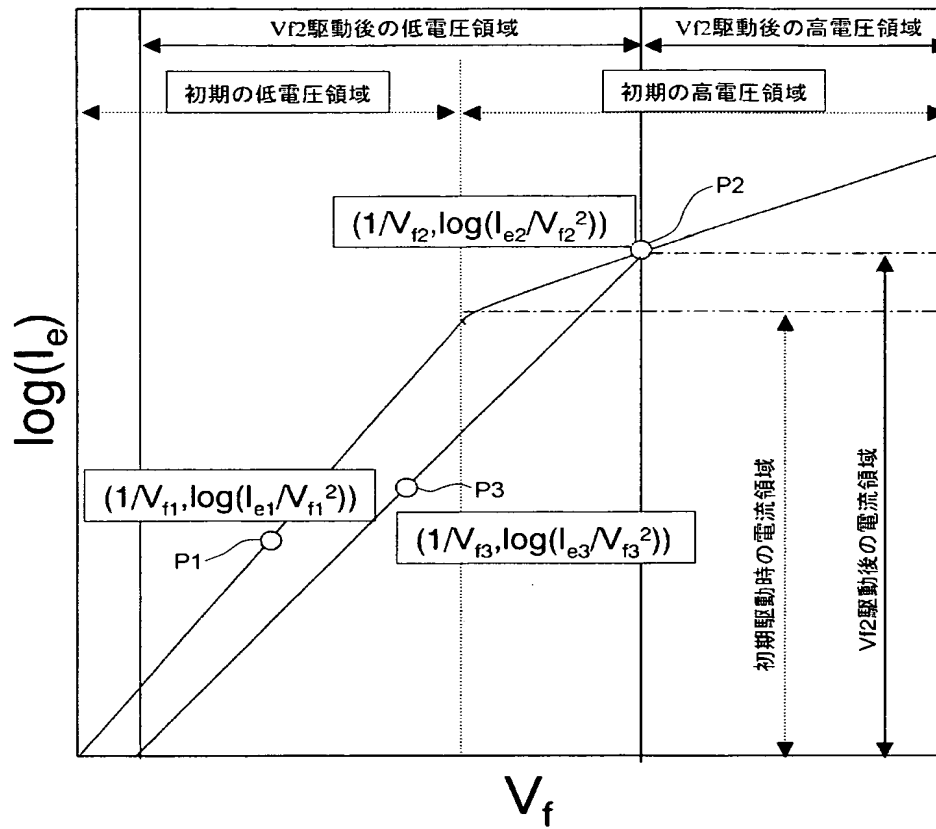
$I_e$  電子放出電流

$V$  駆動電圧

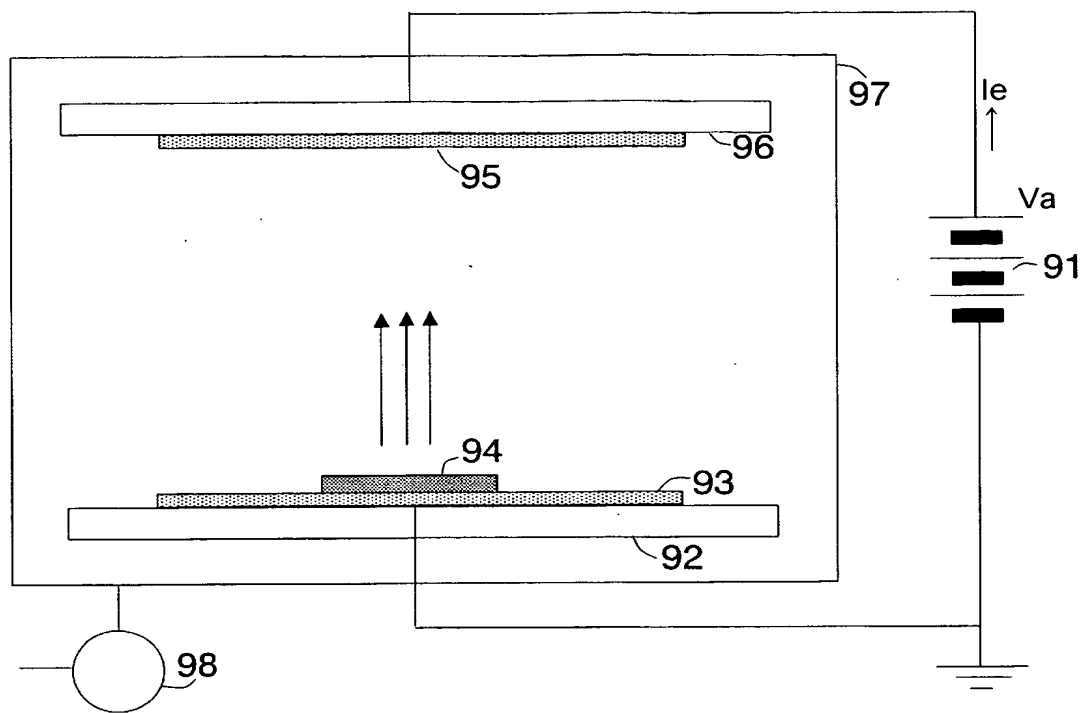
$V_{max}$  最大印加電圧

【書類名】 図面

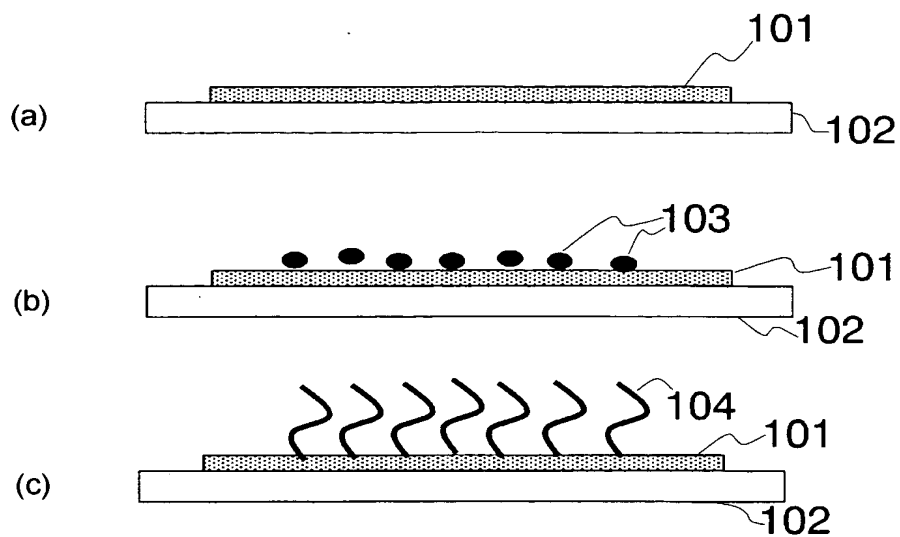
【図 1】



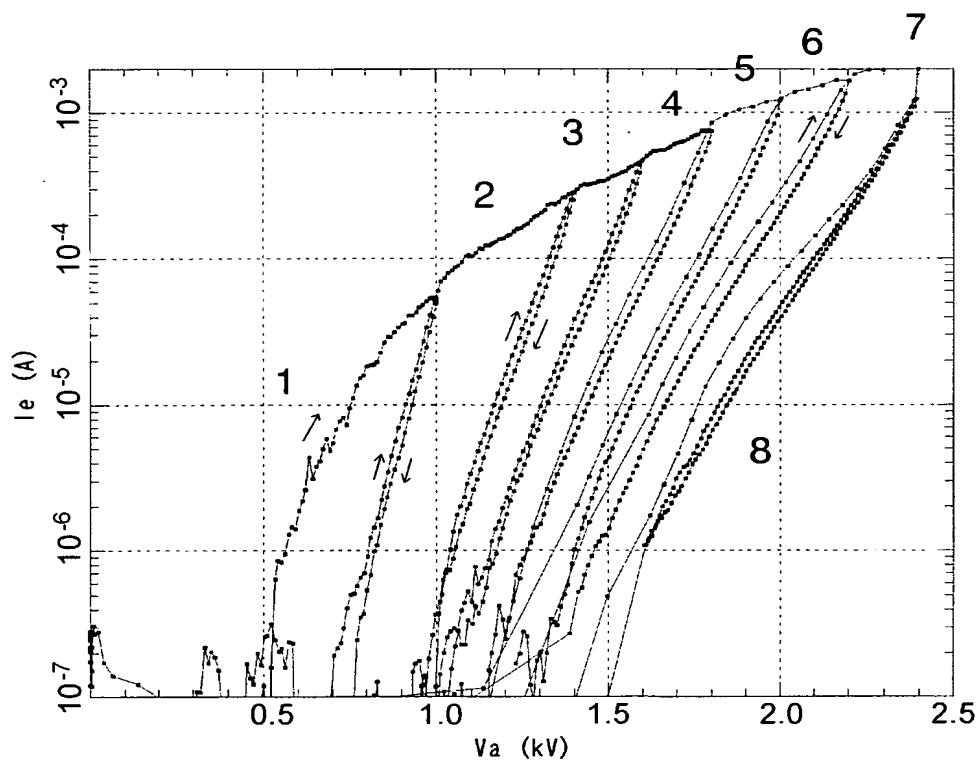
【図 2】



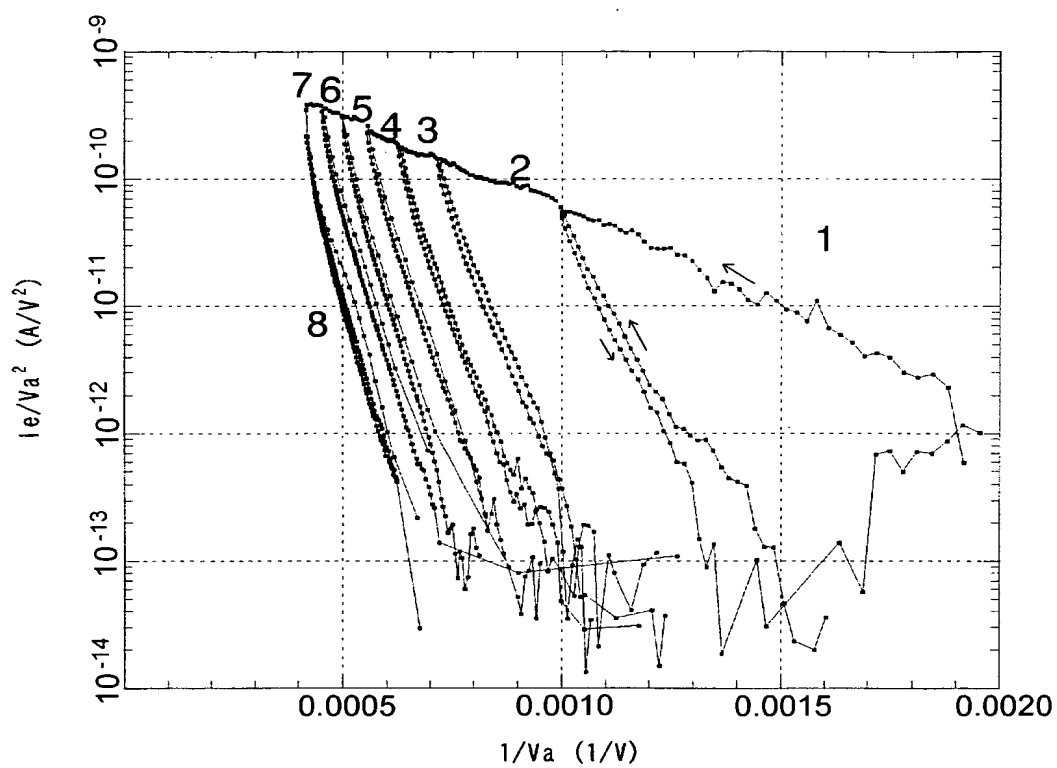
【図 3】



【図 4】

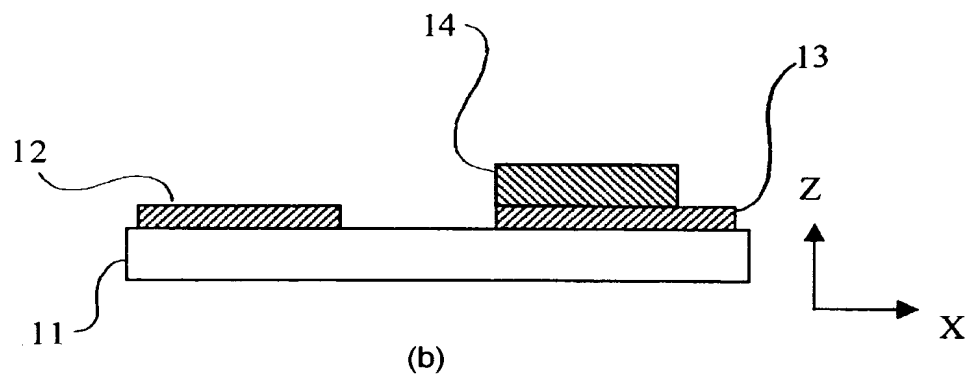
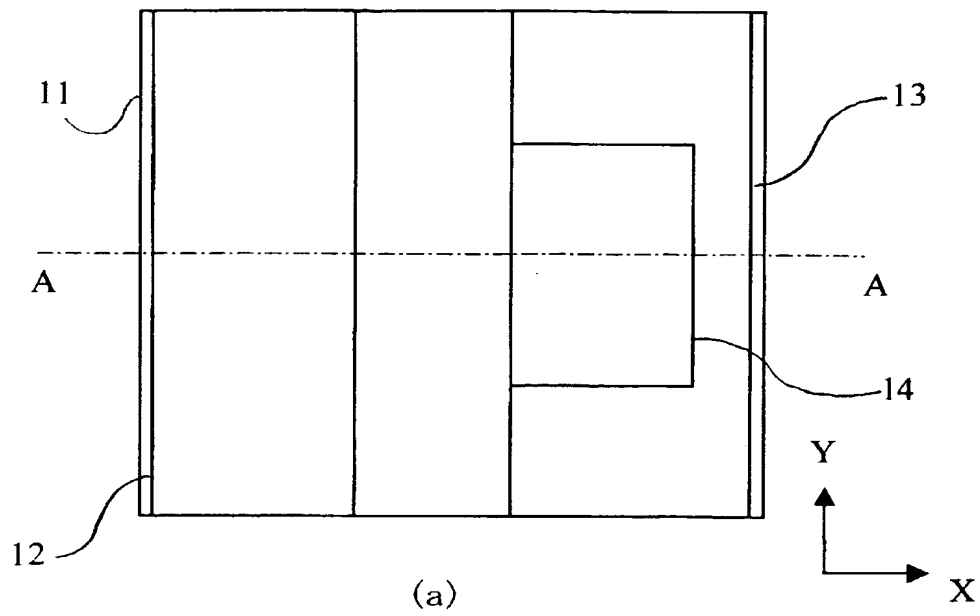


【図 5】



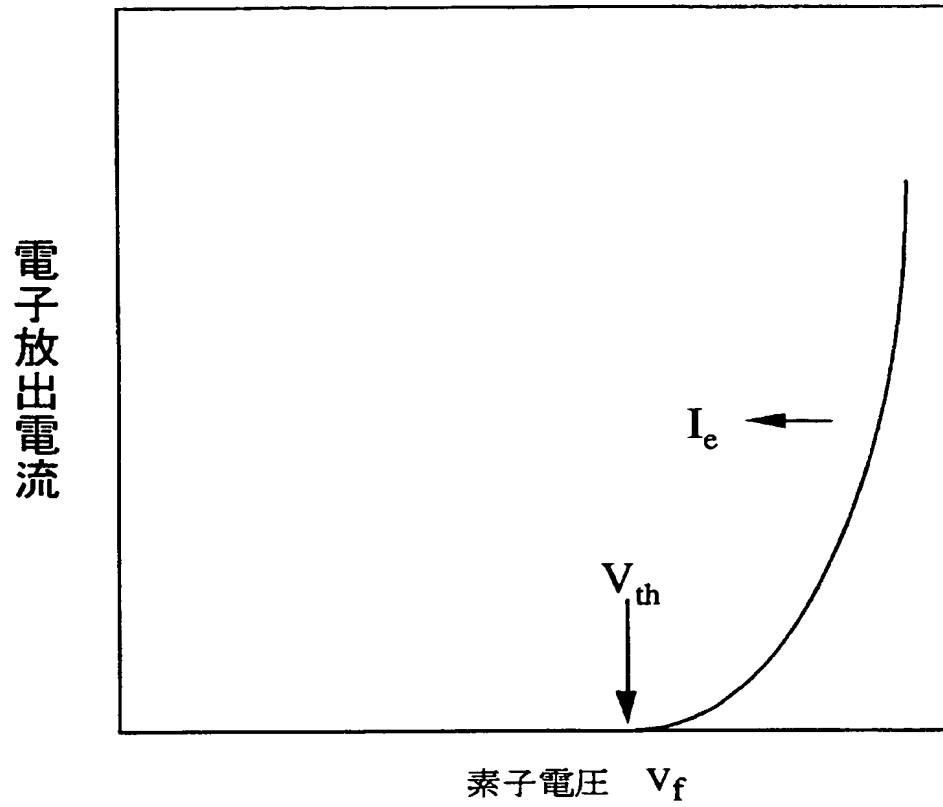


【図 6】

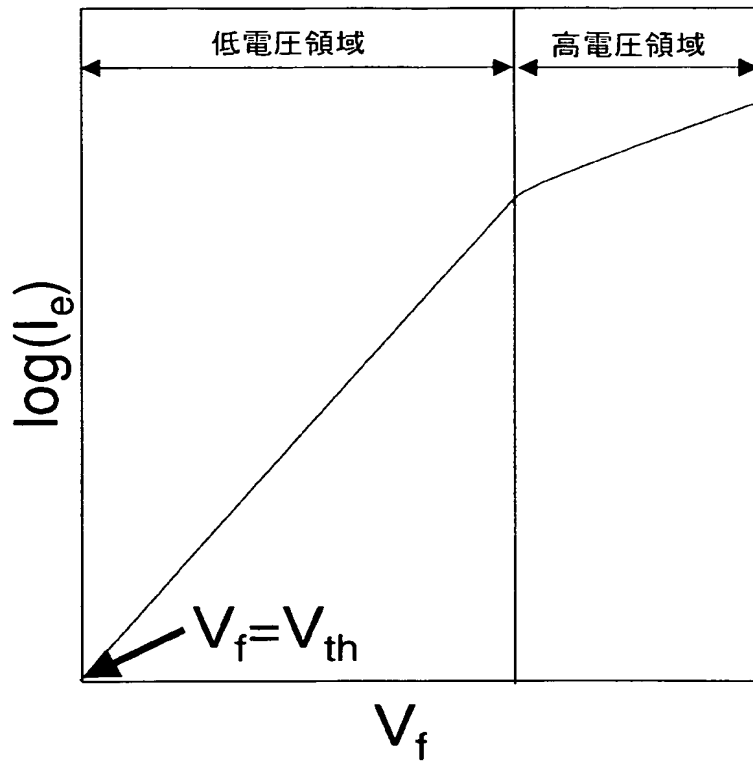




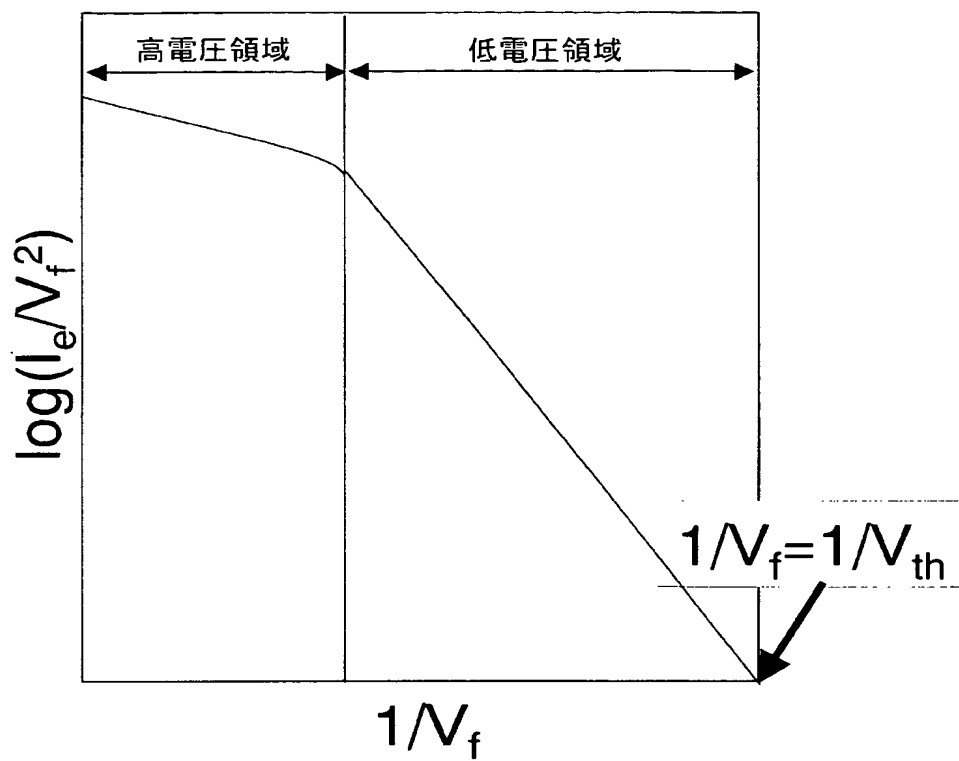
【図 8】



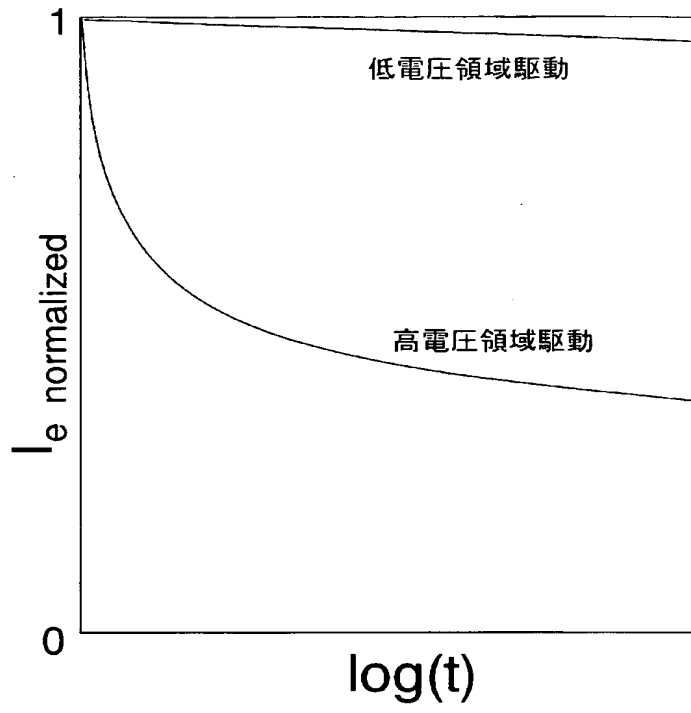
【図 9】



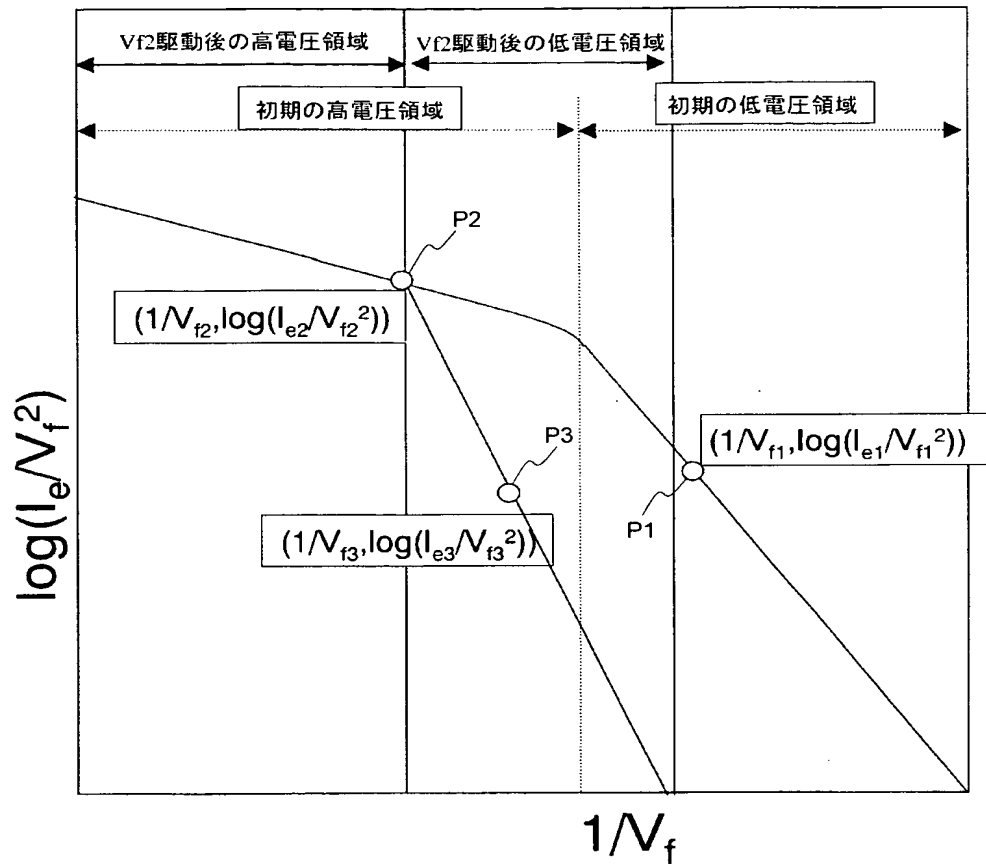
【図 10】



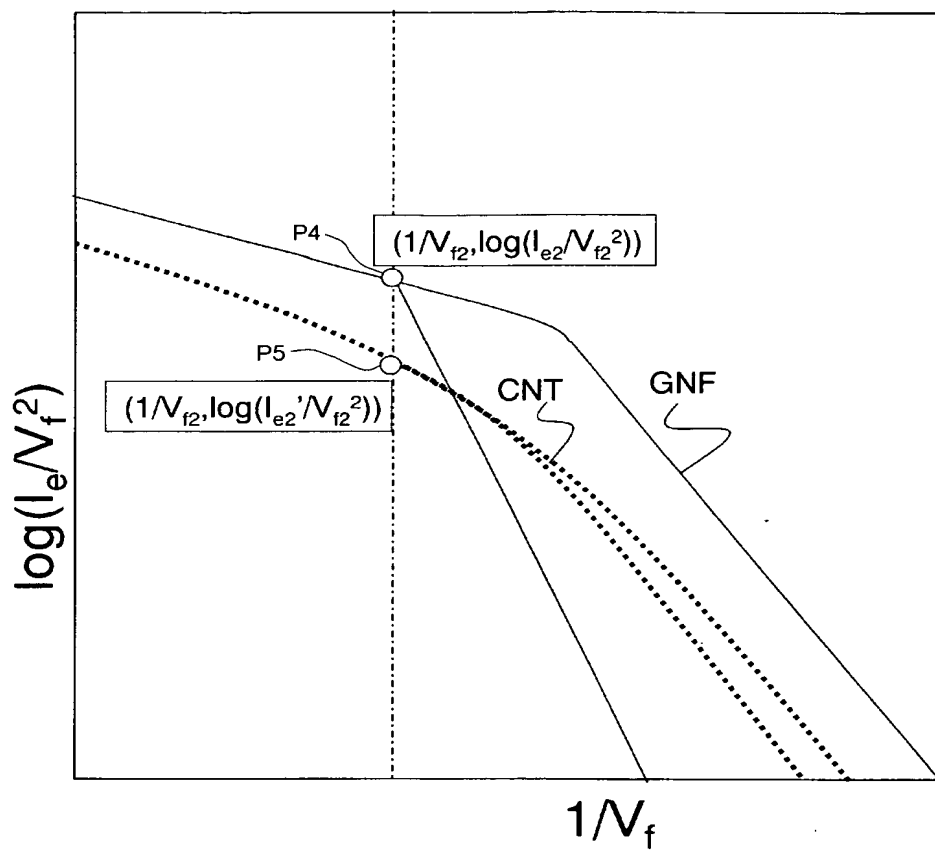
【図 1 1】



【図 12】

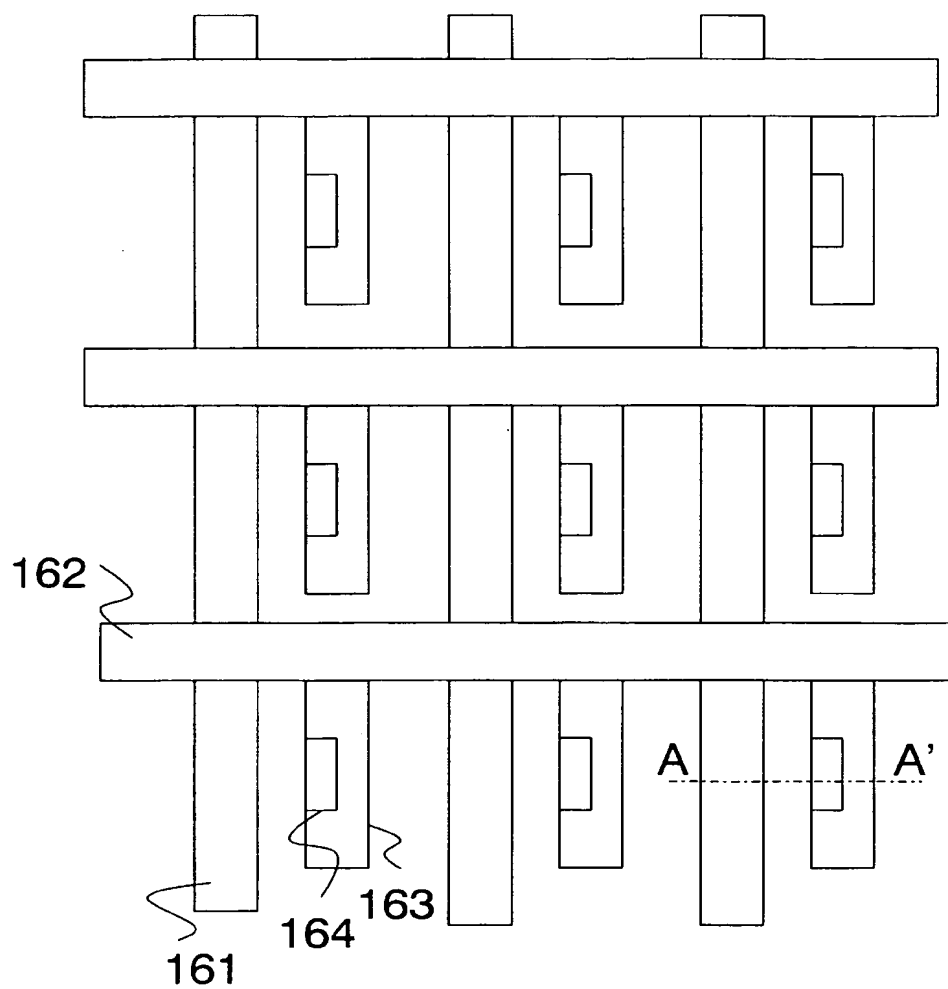


【図 13】

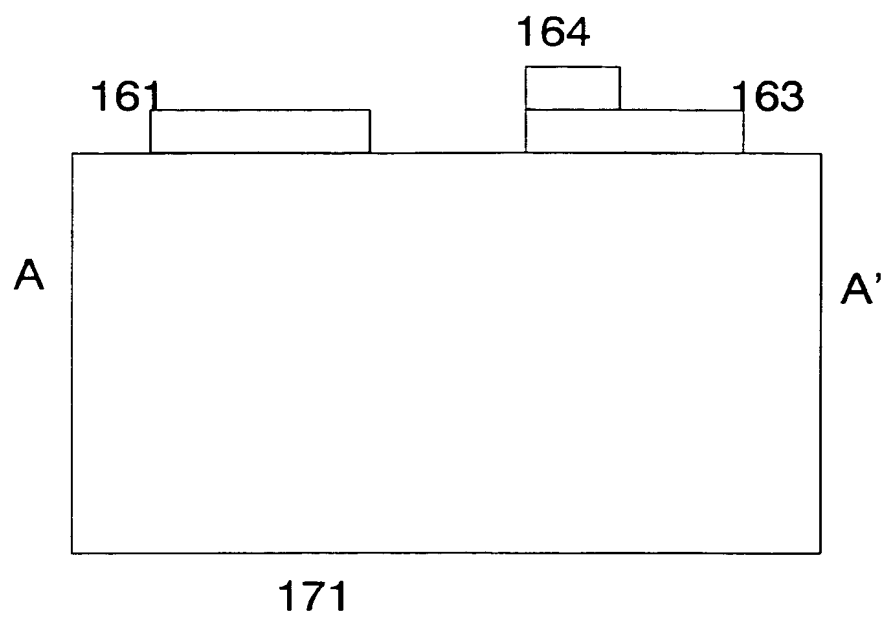




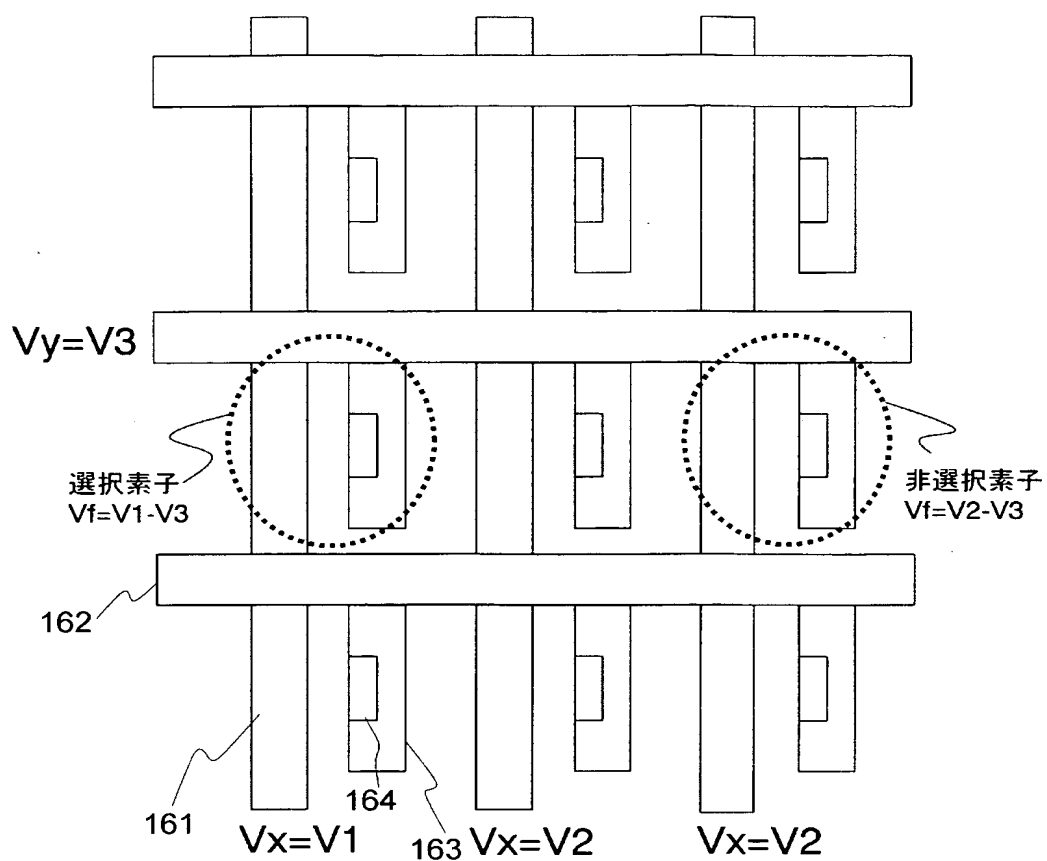
【図 14】



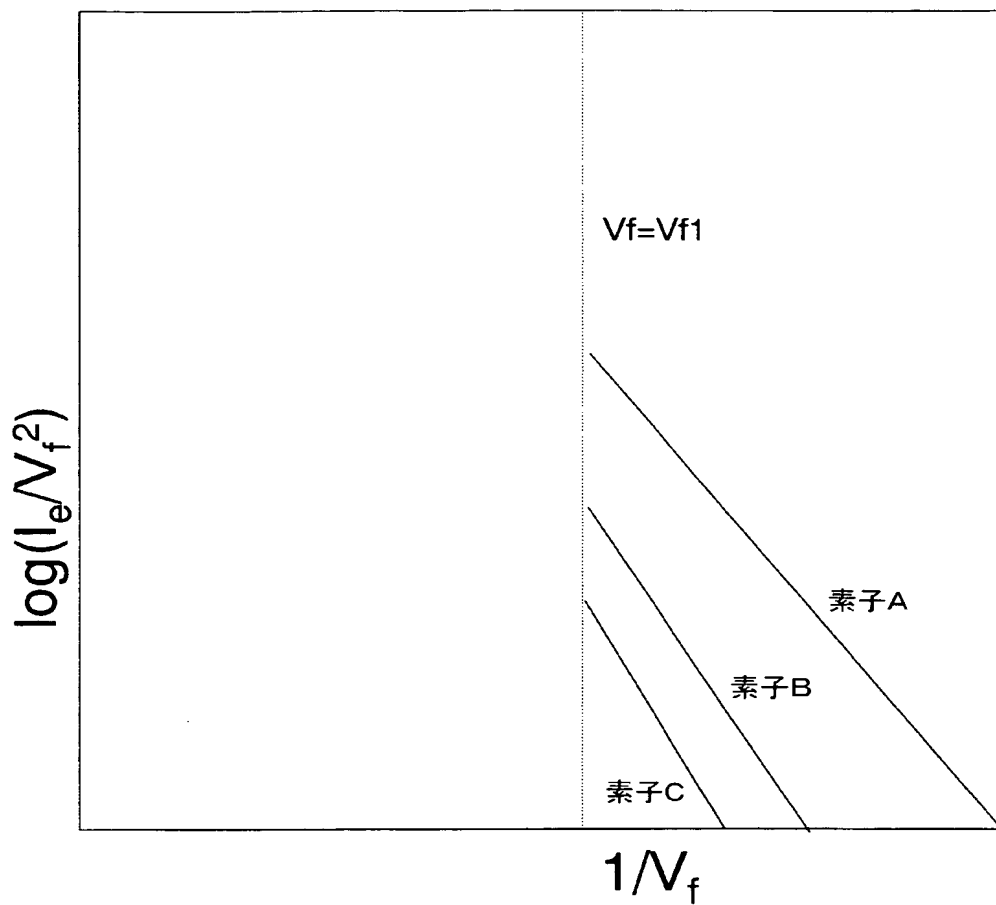
【図 1 5】



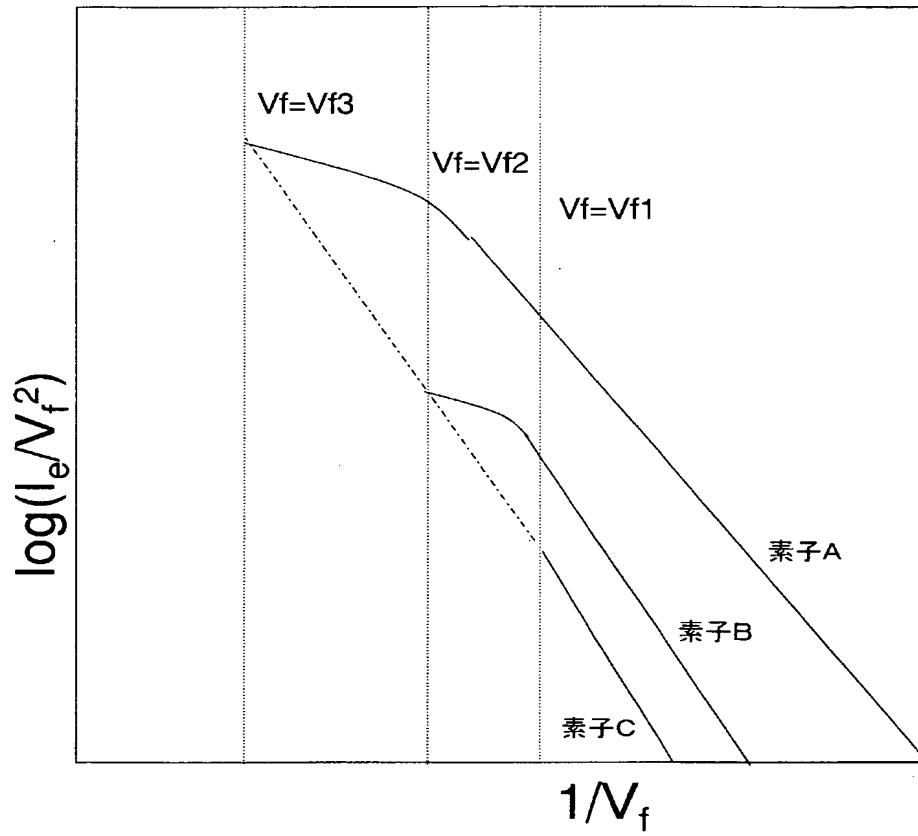
【図 16】



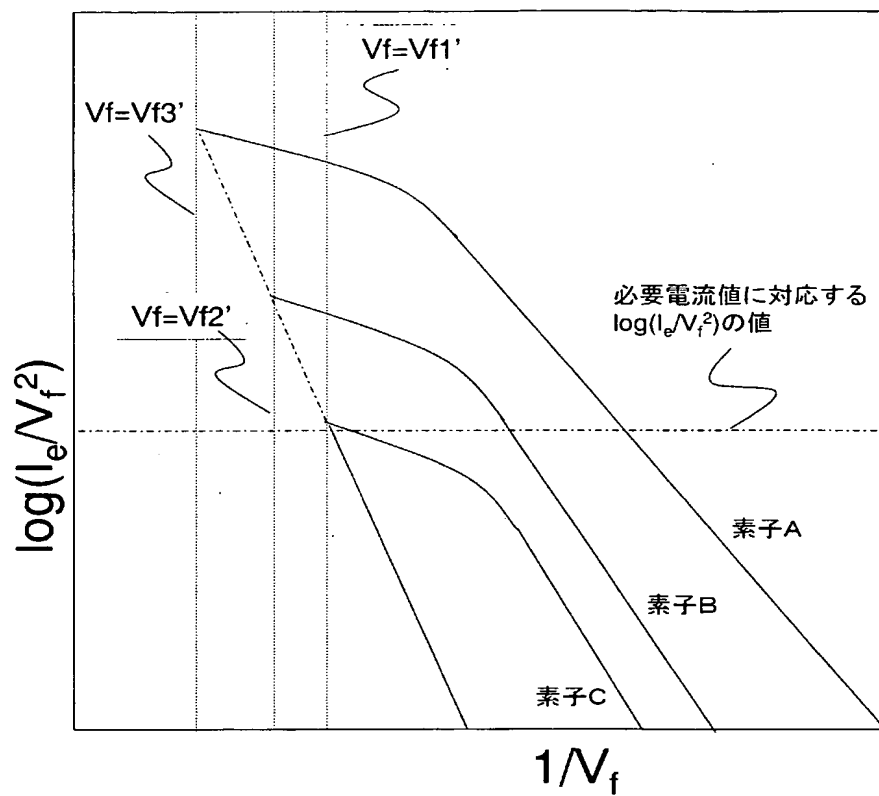
【図 17】



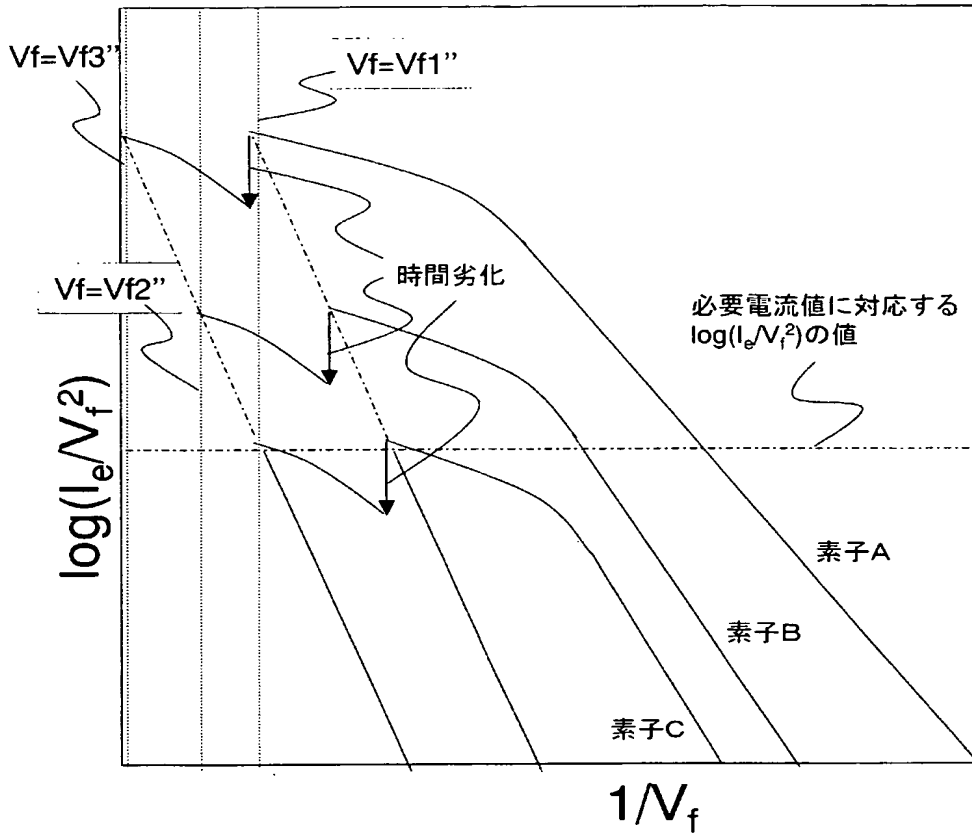
【図 18】



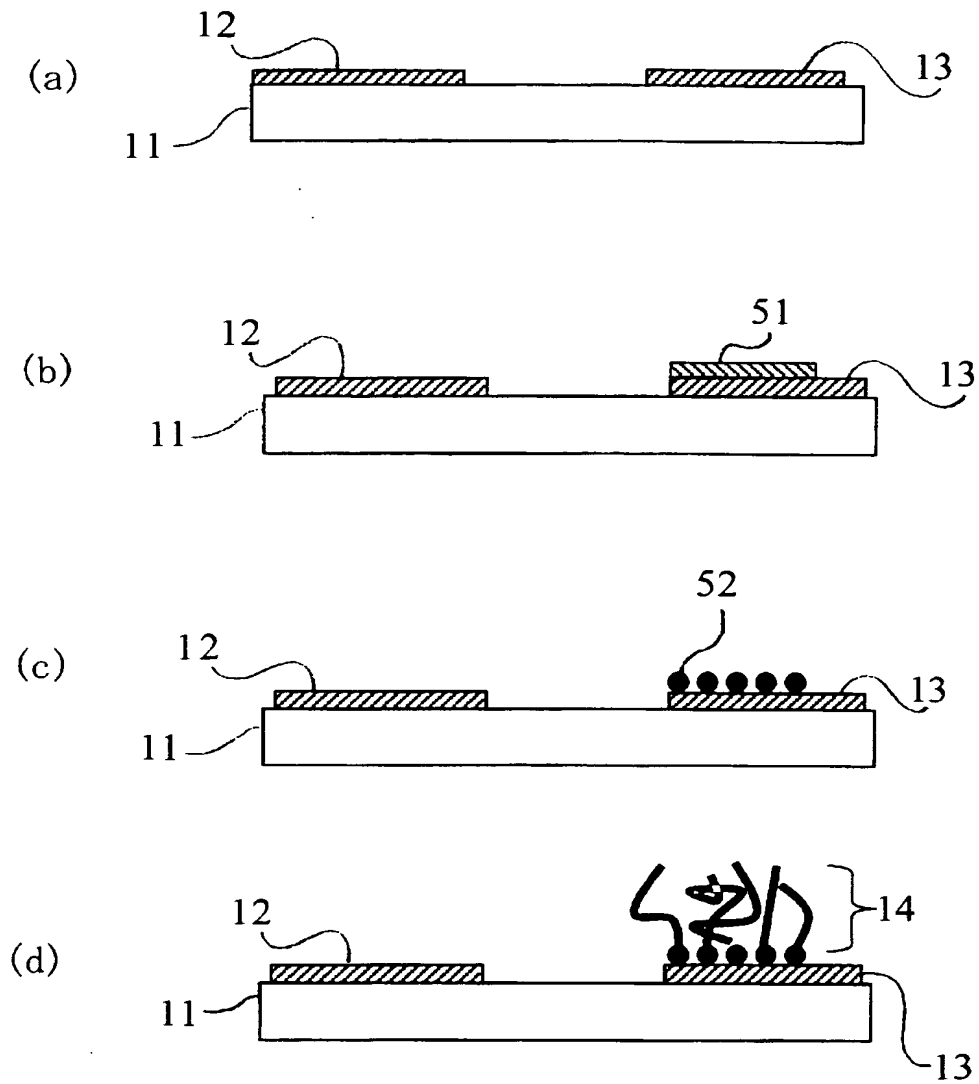
【図 19】



【図 20】

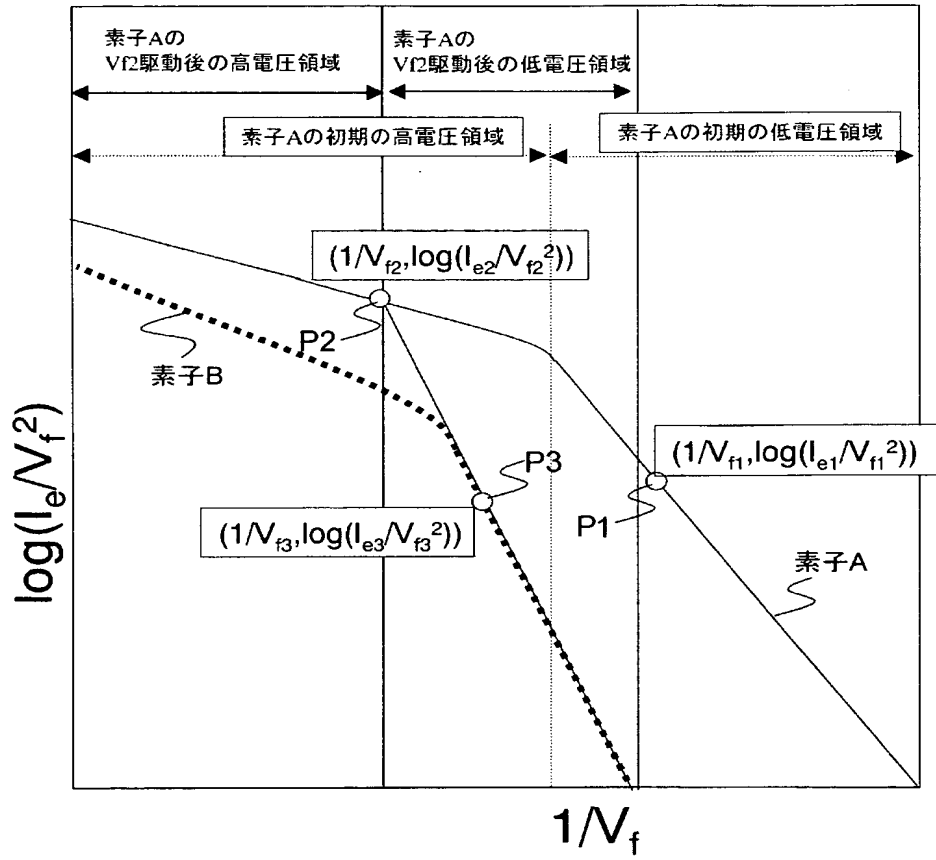


【図 21】

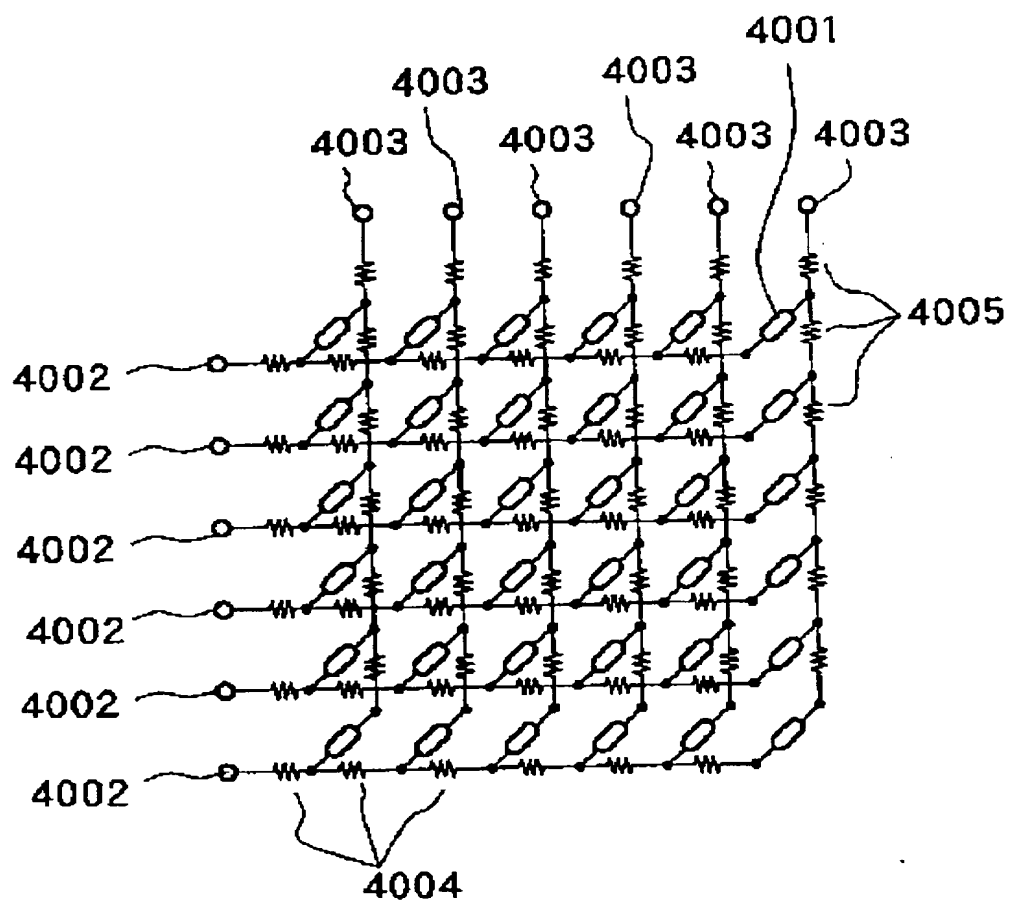




【図 22】



【図 23】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 炭素繊維の集合体を電子放出体に用いた電子放出素子を、安定に長時間駆動することが可能な電子放出素子の駆動方法を提供する。

【解決手段】 炭素繊維の集合体からなる電子放出体が形成されている陰極と該陰極に対向して配置された対向電極との間に電圧を印加し、前記電子放出体から電子を放出させる電子放出素子の駆動方法であって、駆動開始までに前記陰極と前記対向電極との間に印加された最大電圧を最大印加電圧  $V_{max}$  とすると、前記電子放出素子を駆動するために前記陰極と前記対向電極との間に前記最大印加電圧  $V_{max}$  より小さい駆動電圧  $V$  を印加する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 1 9 1 7 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 1 0 0 7 ]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 3 0 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号
氏 名	キャノン株式会社